



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ANA CAROLINA ALVES BARBOSA

**MONITORAMENTO AMBIENTAL NA BACIA DO RIO SERGIPE UTILIZANDO  
MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COMO BIOINDICADORES**

São Cristóvão/SE

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ANA CAROLINA ALVES BARBOSA

**MONITORAMENTO AMBIENTAL NA BACIA DO RIO SERGIPE UTILIZANDO  
MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COMO BIOINDICADORES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Profa. Dra. Andréa Novelli

São Cristóvão/SE

2018

## FOLHA DE APROVAÇÃO

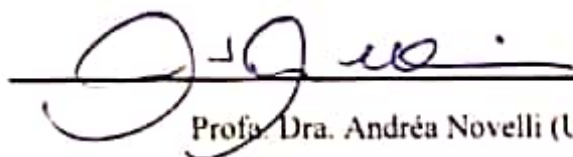
Candidato (a): Ana Carolina Alves Barbosa

Título: Monitoramento Ambiental na bacia do Rio Sergipe utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

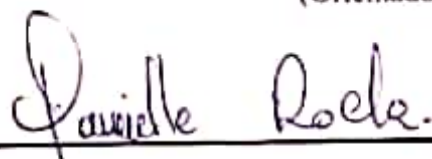
Data da defesa: 16/10/2018

Banca examinadora

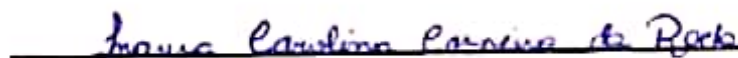


Prof. Dra. Andréa Novelli (Universidade Federal de Sergipe)

(Orientador)



Prof. Dra. Daniella Rocha (Universidade Federal de Sergipe)



Prof. Dra. Inaura Carolina Carneiro da Rocha (Universidade Federal de Sergipe)

## AGRADECIMENTOS

---

Primeiramente agradeço a DEUS que incansavelmente esteve comigo durante toda minha caminhada, a cada dificuldade e pensamentos de que não iria conseguir, sempre consegui arranjar forças, através dele, que sempre está comigo e nunca me desampara.

A minha mãe Elba Alves, a grande responsável por toda a minha educação e formação, que sempre esteve ao meu lado nas madrugadas de estudos, minha guerreira e batalhadora muito obrigada por ser tão presente, a senhora é meu MAIOR EXEMPLO. A meu pai Erasmo Barbosa, que mesmo distante sempre torceu pela minha felicidade e sucesso.

A minha orientadora Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Andréa Novelli, agradeço pela oportunidade, confiança depositada e por me receber tão bem no Grupo de Estudos de Ecotoxicologia Aquática GEEA/ UFS, além de todo o conhecimento, dedicação, apoio e orientação durante esses anos.

Agradeço ao corpo de docentes do DEAM, pelos ensinamentos dedicados, por todo conhecimento adquirido e por serem peças fundamentais na minha formação profissional como Engenheira Ambiental e Sanitarista.

A todos os amigos que a UFS me presenteou, por todo o apoio, amizade e por fazerem parte da minha caminhada durante esses cinco anos.

A equipe do GEEA, Nathalia, Larissa, Vanessa, Carlos, Aline e Juliane que tanto me ajudou nas análises do meu TCC, sem vocês nada disso seria possível.

Enfim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta, me ajudaram a realizar este grande sonho.

*“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”*

José de Alencar.

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1 - Principais impactos decorrentes das atividades humanas nos recursos hídricos do Brasil, destacando as respectivas consequências.....	13
Figura 2 - Classificação dos macroinvertebrados quanto à tolerância frente às adversidades ambientais.....	16
Figura 3 - Relação proposta entre o tamanho do riacho, o número de ordem fluvial, as fontes energéticas e a mudança progressiva nos atributos estruturais e funcionais das comunidades lóticás.....	22
Figura 4 - Pontos de coleta da bacia hidrográfica do Rio Sergipe. ....	28
Figura 5 - Caracterização da pedologia dos pontos de coleta localizados na bacia do rio Sergipe, seguindo Jacomine et al. (1975). ....	33
Figura 6 - Reclassificação da pedologia do solo nos pontos de coleta localizados na bacia do rio Sergipe, seguindo a Embrapa (2006). ....	34
<b>Figura 7</b> - Rede com abertura de malha de 210 µm utilizada para lavagem de amostras dos organismos bentônicos. ....	37
Figura 8 - Bandeja transluminada utilizada na triagem dos organismos bentônicos. ....	37
<b>Figura 9</b> - Classes de Enquadramento dos Corpos d'água. ....	40
Figura 10 - Valores de salinidade registrados <i>in situ</i> nos pontos de coletas do rio Sergipe durante o período chuvoso (agosto/2017) e seco (março/2018).....	42
Figura 11 - Oxigênio dissolvido (OD) registrado <i>in situ</i> no período chuvoso (agosto/2017) e seco (março/2017). Em destaque a linha contínua significa o valor mínimo aceitável de OD para rios de classe 1 (salobra) (5 mg/L) e a linha tracejada indica também o limite mínimo de OD para rios de classe 2 (doce) (5 mg/L) segundo a resolução CONAMA 357/05. ....	44
Figura 12 - Valores de pH registrados <i>in situ</i> no período chuvoso (agosto/2017) e seco (março/2017). Em destaque a linha contínua refere-se ao valor aceitável de pH para rios de classe 1 (salobra) (6,5<pH<8,5) e a linha tracejada representa o valor aceitável de pH (6,0<pH<9,0) para rios de classe 2 (doce) segundo a resolução CONAMA 357/05. ....	46
<b>Figura 13</b> - Condutividade registrada <i>in situ</i> no período chuvoso (agosto/2017) e seco (março/2018). ....	48
Figura 14 - Variação da concentração de material em suspensão orgânico (MSO) e inorgânico (MSI) durante o período chuvoso.....	50
Figura 15 - Variação da concentração de material em suspensão orgânico (MSO) e inorgânico (MSI) durante o período seco. ....	51

<b>Figura 16</b> - Concentração de íon amônio registrada no período chuvoso (agosto/2017).....	52
Figura 17 - Fósforo Total registrado no período chuvoso (agosto/2017). Em destaque a linha contínua refere-se ao valor máximo aceitável de fósforo para rios de classe 1 e 2 (doce) (0,10 mg/L) de acordo a resolução CONAMA 357/05.....	54
Figura 18 - Concentração de Cloreto registrada no período chuvoso (agosto/2017). Em destaque a linha contínua sinaliza o valor máximo aceitável para rios de classe 2 (doce) (250 mg/L) segundo a resolução CONAMA 357/05.....	55
<b>Figura 19</b> - Concentração de Sulfato registrada no período chuvoso (agosto/2017). Em destaque a linha contínua sinaliza o valor máximo aceitável para rios de classe 2 (doce) (250 mg/L) segundo a resolução CONAMA 357/05.....	57
Figura 20 - Número mais provável de coliformes termotolerantes registrados no período chuvoso (agosto/2017) e seco (março/2018). Em destaque as linhas contínua e tracejada que representam os limites estabelecidos para rios de água doce classe 2 e água salobra classe 1 pelas resoluções CONAMA 357/05 (1000NMP/100mL) e CONAMA 274/00 (2500NMP/100mL), respectivamente. ....	62
Figura 21 - Concentração de enxofre registrada no período chuvoso (agosto/2017).....	63
Figura 22 - Dendrograma obtido a partir da Análise dos Componentes Principais (PCA), para o período de coleta em agosto de 2017 (CCC = 0,9726).....	64
Figura 23 - Análise granulométrica do sedimento dos pontos de coleta em agosto (período chuvoso). ....	65
Figura 24 - Análise granulométrica do sedimento dos pontos de coleta em março (período seco).....	66
Figura 25 - Análise da quantidade de matéria orgânica (M.O) nos sedimentos no período chuvoso (agosto/2017) e seco (março/2018). ....	68
Figura 26 - Abundância relativa (%) nos pontos de coleta da bacia do rio Sergipe na época de chuva.....	73
Figura 27 - Abundância relativa (%) nos pontos de coleta da bacia do rio Sergipe na época de seca. ....	74
<b>Figura 28</b> - Equitabilidade ao longo da bacia do rio Sergipe, no período de chuva e seca. ....	76
Figura 29 - Riqueza ao longo da bacia do rio Sergipe, no período de chuva e seca. ....	77
Figura 30 - Diversidade (bits/ind) ao longo da bacia do rio Sergipe, no período de chuva e seca. ....	77
<b>Figura 31</b> - Dominância ao longo da bacia do rio Sergipe, no período de chuva e seca.....	78

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1 - Classes de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe. ....	25
Tabela 2 - Caracterização da água da bacia do rio Sergipe por meio de análise de metais. Destaque (em negrito) para os pontos onde as concentrações estão acima do limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA 357/05. ....	58
Tabela 3 - Densidade dos organismos bentônicos (indivíduos/m <sup>2</sup> ) coletados no sedimento dos pontos de coleta no período chuvoso, bem como a classificação quanto à tolerância frente às adversidades ambientais. ....	69
Tabela 4 - Densidade dos organismos bentônicos (indivíduos/m <sup>2</sup> ) coletados no sedimento dos pontos de coleta no período seco, bem como a classificação quanto à tolerância frente às adversidades ambientais. ....	69



## LISTA DE QUADROS

---

Quadro 1 - Classificação de organismos bentônicos, quanto ao tamanho da malha utilizada para lavar amostras e separá-los do sedimento.....	17
Quadro 2 - Municípios incluídos na Bacia Hidrográfica do rio Sergipe. ....	24
Quadro 3 - Localização e descrição dos pontos de coleta da bacia hidrográfica do Rio Sergipe. ....	29
Quadro 4 - Classificação dos solos nos pontos de coleta situados ao longo da bacia do rio Sergipe. ....	32
Quadro 5 - Metodologia para as análises dos parâmetros físico-químicos e biológicos realizadas no presente estudo. ....	35

## RESUMO

---

O crescimento da população mundial desordenado ocasiona diversos impactos nos recursos hídricos. Com este cenário, o Brasil vem buscando melhorias na gestão dos corpos hídricos, produzindo leis e políticas com o intuito de preservar e conservar esse precioso recurso. Porém, mesmo com a criação de várias leis e políticas de proteção aos recursos hídricos, ainda nos deparamos com o descaso e descuido a respeito dessa problemática. Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar os impactos ambientais da bacia do rio Sergipe, por intermédio das análises físico-químicas e biológicas da água e sedimento, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade ambiental. A área de estudo compreende alguns trechos do Rio Sergipe e seus tributários pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Sergipe, a qual possui uma área equivalente a 3.673 km. As coletas foram realizadas em dois períodos climáticos: o chuvoso, em agosto de 2017, e o seco, em março de 2018, amostrando-se oito pontos de coleta, distribuídos na bacia do Rio Sergipe. Conforme os parâmetros observados nesse estudo, salinidade, pH, oxigênio dissolvido, condutividade, material em suspensão, cloreto, sulfato, enxofre, fósforo total, nitrato, íon amônio, coliformes termotolerantes e metais (Ca, Fe, Mg, Mn, Al, Ba), a bacia do rio Sergipe ficou caracterizada e separada em três grandes grupos distintos do ponto de vista de qualidade da água (grupos I, II e III). A distinção entre os grupos se deu, por duas razões gerais: as características físicas e químicas intrínsecas a cada região, principalmente em função da pedologia e a geologia da área de drenagem que influenciam nas características e qualidade da água e a influência antrópica nesses trechos, a qual pode contribuir para redução da qualidade da água. Com relação a análise da comunidade bentônica, os resultados evidenciaram que os pontos de coleta P1, P5, P7 e P8 encontram-se com a qualidade ambiental afetada decorrente do forte impacto antrópico na região, em contra partida, o ponto P6 trata-se de uma Área de Preservação Ambiental e encontra-se preservado. Foram identificados 21.269 organismos bentônicos, pertencentes a 26 táxons, sendo os mais abundantes e representativos os *Melanoides tuberculata*, *Oligochaeta*, *Helycopsychidae* e *Chironomidae*. No período chuvoso, os pontos P6 e P7 apresentaram os maiores e menores valores de riqueza, equitabilidade e diversidade, respectivamente. No período seco, o ponto de coleta com os maiores e menores valores de riqueza, equitabilidade e diversidade foram P4 e P1, respectivamente.

**Palavras-chave:** Monitoramento ambiental, macroinvertebrados bentônicos, bioindicadores, qualidade ambiental.

# SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Monitoramento Ambiental .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Bioindicadores .....</b>	<b>15</b>
2.2.1	<i>Distribuição dos zoobentos e processos de transporte .....</i>	19
2.2.2	<i>Comunidade bentônica na ciclagem de nutrientes.....</i>	20
<b>2.3</b>	<b>Funcionamento de Ecossistemas Fluviais.....</b>	<b>21</b>
<b>2.4</b>	<b>Considerações sobre a bacia hidrográfica do rio Sergipe.....</b>	<b>23</b>
<b>3.</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>26</b>
<b>4.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>27</b>
4.1	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>27</b>
4.2	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>27</b>
<b>5.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
5.1	<b>Área de Estudo .....</b>	<b>28</b>
5.2	<b>Pontos de Amostragem e periodicidade das coletas .....</b>	<b>29</b>
5.3	<b>Análise Físico-Química e Biológica da Água .....</b>	<b>35</b>
5.4	<b>Amostragem de Sedimento e Ensaio Granulométrico .....</b>	<b>36</b>
5.5	<b>Análise dos dados .....</b>	<b>38</b>
5.5.1	<i>Índices Ecológicos dos Estudos das Comunidades Bióticas .....</i>	38
5.6	<b>Análise Estatística dos Dados .....</b>	<b>39</b>
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
6.1	<b>Análise física, química e biológica da água. ....</b>	<b>40</b>
6.1.1	<i>Salinidade.....</i>	41
6.1.2	<i>Oxigênio Dissolvido – OD .....</i>	42
6.1.3	<i>pH.....</i>	44
6.1.4	<i>Condutividade Elétrica – CE .....</i>	46
6.1.5	<i>Material em Suspensão .....</i>	48
6.1.6	<i>Íon Amônio .....</i>	51
6.1.7	<i>Fósforo total.....</i>	53
6.1.8	<i>Íon Cloreto – Cl<sup>-</sup> .....</i>	54
6.1.9	<i>Íon Sulfato - SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> .....</i>	56
6.1.10	<i>Metais.....</i>	57
6.1.11	<i>Coliformes Termotolerantes.....</i>	60
6.1.12	<i>Enxofre .....</i>	62

<b>6.2</b>	<b>Análise Estatística da Água .....</b>	<b>63</b>
<b>6.3</b>	<b>Análise do Sedimento .....</b>	<b>65</b>
6.3.1	<i>Análise Granulométrica .....</i>	65
6.3.2	<i>Matéria Orgânica.....</i>	67
<b>6.4</b>	<b>Análise de Dados da Comunidade Bentônica .....</b>	<b>68</b>
6.4.1	<i>Análise dos Organismos Bentônicos .....</i>	68
6.4.2	<i>Análise dos Índices Ecológicos .....</i>	75
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>79</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>82</b>
	<b>APÊNDICE 1.....</b>	<b>90</b>
	<b>APÊNDICE 2.....</b>	<b>91</b>
	<b>APÊNDICE 3.....</b>	<b>92</b>
	<b>APÊNDICE 4.....</b>	<b>93</b>
	<b>APÊNDICE 5.....</b>	<b>94</b>
	<b>APÊNDICE 6.....</b>	<b>95</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial ao desenvolvimento econômico e à vida humana, entretanto somente na segunda metade do século XX, quando começou a ocupar juntamente com o meio ambiente um importante espaço na mídia e na agenda política, manifestou-se intensamente a percepção social sobre o seu limite em escala global. À medida que aumenta a compreensão em relação ao uso inadequado da água reduzindo a sua disponibilidade para a atual e as futuras gerações, impulsiona o fortalecimento e formação de arranjos organizacionais em busca da maneira mais adequada para enfrentar esse desafio (BRASIL, 2013).

No quesito reserva de água doce o Brasil é um país privilegiado, no entanto essa água não é distribuída igualitariamente no território brasileiro e em regiões pontuais há escassez hídrica efetiva. Detém cerca de 12% das águas doces disponíveis em todo o planeta Terra. O relatório da ANA (2011) ressalta que “apesar de o Brasil possuir grande oferta de água em termos globais, existe uma distribuição desigual dos recursos hídricos”. Dentre a grande disponibilidade hídrica destaca-se a Amazônia, e a escassez de água é bastante presente na região Nordeste do Brasil (TUNDISI, 2014; BRASIL, 2013).

A situação hídrica é agravada ainda mais com o constante crescimento da população mundial, já que se observa que os recursos hídricos sofrem cada vez mais pressão, seja pelos impactos provenientes da poluição e da urbanização desordenada, pelo uso na indústria e na agricultura, ou pelas mudanças climáticas e ambientais causadas pela ação antrópica. Caso providências não sejam tomadas no que tange à conscientização desses recursos, o problema se agravará ocasionando a falta de disponibilidade da água para as futuras gerações. (ANDRÉ et al., 2015; MUÑOZ, 2014).

Em busca de melhorias na gestão dos corpos hídricos, o Brasil vem produzindo, leis e políticas com o intuito de preservar e conservar esse precioso recurso para suprir os usos preponderantes atuais e garantir às gerações futuras a disponibilidade do mesmo. Movimentos significativos à procura da preservação dos recursos ambientais surgiram por volta das décadas de 60 a 90 do século XXI, contribuindo para a criação de controles ambientais, regulamentos e m isso contribuiu para criação de legislações, regulamentos e controles ambientais (ANDRÉ et al., 2015). Em 1997 foi elaborada a Lei nº 9.433 de 1997, conhecida como Lei das Águas ou Lei sobre Gestão de Recursos Hídricos, que institui a Política

Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A “Lei das Águas” implementou a gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos, com a participação do Poder Público, comunidade e usuários, criou os Conselhos Nacionais e Estaduais de Recursos Hídricos, os Comitês de Bacia e a Agência Nacional de Águas, declarou a Bacia Hidrográfica como unidade básica de planejamento e operação do sistema e criou instrumentos específicos para o gerenciamento das águas. (BURITI; BARBOSA, 2014; BRASIL, 1997; FERREIRA; FERREIRA, 2006).

Mesmo com a criação de várias leis e políticas de proteção aos recursos hídricos, ainda nos deparamos com o descaso e descuido a respeito dessa problemática, como, por exemplo, o estudo de Oliveira e Henkes (2013) na Bacia do Rio dos Sinos, localizada no Rio Grande do Sul relata que nos trechos da bacia predominam as atividades industriais, agricultura (agrotóxicos), processos de urbanização (lançamento de esgoto doméstico) que acabam degradando o meio aquático, causando diminuição da qualidade da água e provocando a mortandade de peixes, além de contaminar a bacia hidrográfica por metais pesados. Pessoa et al. (2018) realizaram um estudo em alguns rios do estado da Bahia e verificaram no ponto de coleta do rio Paraguaçu, em Feira de Santana, odor característico de esgoto devido ao lançamento de esgoto *in natura*, além da presença de resíduos sólidos, tais como: papel, dejetos de animais, plástico e podas de árvores nas margens e no leito do rio. Rodrigues et al. (2016) em seu estudo também verificaram que os principais impactos ambientais do rio Colônia, em Itororó, Bahia, são oriundos de atividades como o despejo dos esgotos domésticos e resíduos sólidos domésticos.

Diante do exposto, é imprescindível a realização de estudos científicos e programas de monitoramento ambiental dos recursos hídricos para avaliar a qualidade dos corpos hídricos com o objetivo de controlar a disseminação constante de poluentes e conservar os mananciais e a biota aquática. O biomonitoramento é uma técnica que auxilia no diagnóstico dos ecossistemas, é considerado como a maneira de avaliar a qualidade das águas e a “saúde” de seus ecossistemas e consiste no uso sistemático de respostas biológicas para avaliar mudanças ambientais, normalmente antropogênicas, com o intuito de usar esta informação em um programa de controle de qualidade (DANZE; VERCELLINO, 2018).

Estudos referentes à qualidade de água utilizam as comunidades bentônicas com as variáveis físicas e químicas da água e do sedimento, com o objetivo de se obter uma visão mais ampla das influências que uma determinada microbacia recebe ao longo do tempo. Essas

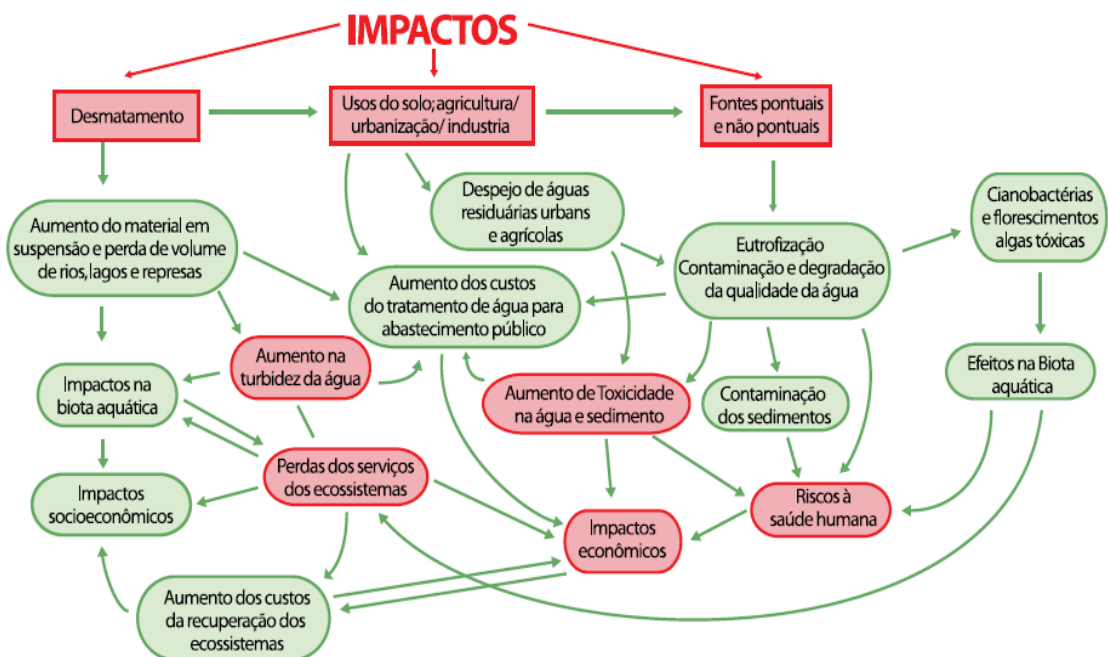
comunidades colonizam o substrato de fundo dos ambientes aquáticos, onde podem viver sobre o substrato, se enterrar em sedimento mais fino ou ocupar os espaços entre os grãos de areia. Nesse sentido, a comunidade bentônica vem sendo bastante utilizada como bioindicadora para complementar estudos de qualidade de água tornando-se grande destaque, principalmente em estudos realizados em rios, devido à ampla capacidade de respostas apresentadas (FERRAZ, 2008; CETESB, 2012).

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Monitoramento Ambiental

As bacias hidrográficas no Brasil vêm sofrendo diversos impactos ambientais que afetam não só os componentes dos ecossistemas aquáticos como também a disponibilidade dos recursos hídricos, a saúde humana, a economia regional, prejuízo nos serviços ecossistêmicos. Os principais impactos são provenientes do desmatamento e erosão do solo, sedimentação de lagos, rios e represas, alterações da biodiversidade devido à toxicidade, degradação de rios (construção de canais, construção de reservatórios, hidrovias), poluição por despejos de combustíveis, de resíduos sólidos industriais, resíduos sólidos urbanos (Figura 1) (TUNDISI, 2014).

**Figura 1** - Principais impactos decorrentes das atividades humanas nos recursos hídricos do Brasil, destacando as respectivas consequências.



Fonte: Tundisi, 2014.

Em virtude destes impactos e visando o controle da qualidade da água dos mananciais são de fundamental importância a avaliação e o monitoramento permanente de tais corpos hídricos (TUNDISI, 2014).



Nessa conjuntura, para o monitoramento e avaliação dos recursos hídricos podem ser utilizadas as análises físicas e químicas em conjunto com o biomonitoramento. A junção dessas análises melhora o diagnóstico da qualidade ambiental dos ecossistemas por serem complementares e convergentes (DORNFELD, 2006). Segundo Whitfield (2001), o uso das variáveis físicas e químicas no monitoramento ambiental fornece uma fotografia momentânea do que pode ser uma situação altamente dinâmica. Em contrapartida, o uso das comunidades aquáticas no monitoramento ambiental reflete a integridade ecológica total dos ecossistemas (integridade física, química e biológica), unifica os efeitos dos diversos agentes impactantes existentes e fornece uma dimensão agregada dos impactos (BARBOUR et al., 1999). Percebe-se então, que o monitoramento biológico representa um instrumento importante na avaliação das respostas destas comunidades biológicas a alterações nas condições ambientais originais (GOULART; CALLISTO, 2003).

Este monitoramento tem como base a utilização de bioindicadores de qualidade de água e habitat e é executado principalmente através da análise dos índices biológicos e multimétricos e da aplicação de diferentes protocolos de avaliação. Destaca-se que os bioindicadores são espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas cuja presença, quantidade e distribuição indicam a magnitude de impactos ambientais em um ecossistema aquático e sua bacia de drenagem, pois apresentam adaptações evolutivas com limites de tolerância a determinadas condições ambientais (CALLISTO; GONÇALVES, 2002). Nesse sentido, os organismos comumente utilizados na avaliação de impactos ambientais em ecossistemas aquáticos são as comunidades planctônicas, bentônicas e ícticas.

Dentre os organismos citados acima os macroinvertebrados bentônicos são bastante utilizados no monitoramento ambiental e existem várias razões para esta utilização tais como: 1) são componentes importantes dos ecossistemas aquáticos, formando um elo entre os produtores primários e servindo de alimentação para muitos peixes, além de ter o papel fundamental na ciclagem de nutrientes e processamento de matéria orgânica; 2) são organismos sedentários, sendo, portanto, representativos da área na qual foram coletados; 3) exibem elevada diversidade biológica, o que fornece uma maior variabilidade de respostas ao se deparar com diferentes tipos de impactos ambientais; 4) apresentam ciclos de vida relativamente curtos se comparados aos ciclos dos peixes, refletindo então, mais rapidamente as modificações do ambiente através de mudanças na estrutura das comunidade e populações; 5) se alimentam e vivem dentro, sobre, e próximo aos sedimentos, onde geralmente ocorre

acúmulo das toxinas (ROSENBERG; RESH, 1993; WARD et al., 1995; REECE; RICHARDSON, 1999; CALLISTO et al., 2001).

Diante desse contexto, fica evidente a importância do monitoramento ambiental como um instrumento essencial para a sociedade, devido a sua função primordial de avaliar o grau de degradação dos ecossistemas aquáticos, concedendo informações para possíveis estratégias de recuperação e conservação de tais sistemas (GOULART; CALLISTO, 2003).

## **2.2 Bioindicadores**

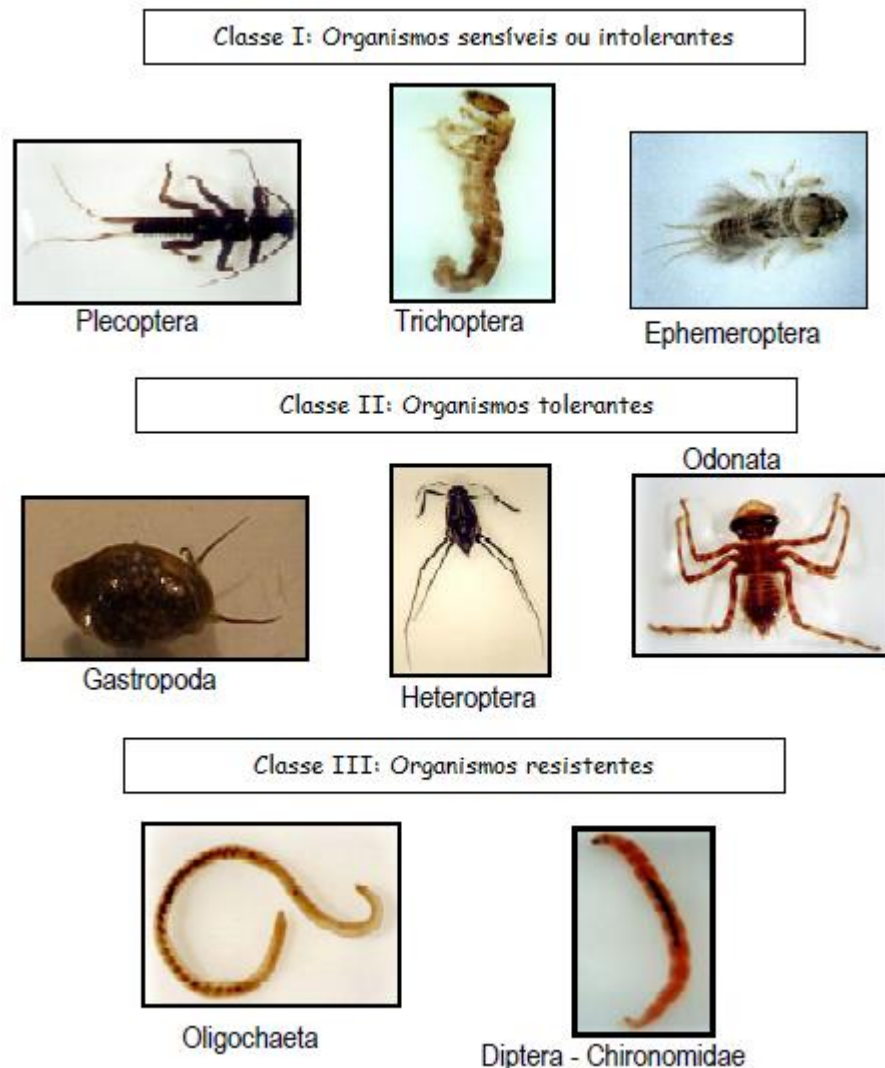
Segundo Santos et al. (2016) “bioindicadores são espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas cuja presença, abundância e condições são indicativos de uma determinada condição ambiental”. Para ser considerado um bom bioindicador de qualidade de água, o organismo deve responder as condições estressantes que o sistema encontra-se exposto (QUEIROZ et al., 2008).

Dentre as comunidades biológicas citadas acima, os bentos são considerados bons bioindicadores, são as comunidades que se espalham na superfície do sedimento e na interface sedimento-água, eles vivem sobre o substrato ou dele dependem, podendo passar toda sua vida nesse componente sólido do fundo ou parte de sua vida nesse substrato. Os insetos, anelídeos, moluscos e crustáceos constituem os principais grupos de invertebrados bentônicos, a maior parte dos insetos passa seu ciclo de vida na forma larval, os adultos, entretanto, apresentam um ciclo de vida rápido e são terrestres (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Os macroinvertebrados bentônicos têm características sésseis, ciclo de vida e são de fácil visualização, mediante a isso, são considerados um dos melhores bioindicadores de qualidade de rios, lagos, riachos e represas (MILESI et al., 2008; e TUNDISI E MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Alguns macroinvertebrados bentônicos são pouco tolerantes a níveis reduzidos de oxigênio dissolvido, entretanto, existem outros organismos que toleram baixas concentrações, devido a adaptações morfológicas ou fisiológicas especiais. Por exemplo, existem diversas larvas de insetos que respiram oxigênio no ar, e há outras larvas que possuem uma maior tolerância a baixos níveis de oxigênio devido a presença de hemoglobina no organismo, que são as larvas de *Chironomus* sp e oligoquetos turbificidas (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Os macroinvertebrados bentônicos podem ser classificados em três grupos principais de acordo com a tolerância às adversidades ambientais: a) organismos sensíveis ou intolerantes, b) organismos tolerantes e, c) organismos resistentes (GOULART; CALLISTO, 2003), como ilustrado na Figura 2.

**Figura 2** - Classificação dos macroinvertebrados quanto à tolerância frente às adversidades ambientais.



Fonte: Goulart e Callisto (2003).

O primeiro grupo é formado principalmente por insetos aquáticos das ordens Ephemeroptera, Trichoptera e Plecoptera (são organismos que possuem necessidade de elevadas concentrações de oxigênio dissolvido na água, geralmente vivem em ambientes com alta diversidade de habitats e microhabitats), o segundo grupo é representado principalmente por representantes das ordens Heteroptera, Odonata e Coleoptera (a necessidade de concentrações elevadas de oxigênio dissolvido é menor, já que parte dos representantes deste

grupo, como os Heteroptera, adultos de Coleoptera e alguns Pulmonata (Gastropoda) utilizam o oxigênio atmosférico), o terceiro grupo é formado principalmente por larvas de Chironomidae e outros Diptera e por toda a classe Oligochaeta, (são capazes de viver em condição de anóxia (redução total de oxigênio) por várias horas, são organismos detritívoros e se alimentam de matéria orgânica depositada no sedimento, o que favorece a sua adaptação aos mais diversos ambientes) (GOULART; CALLISTO, 2003).

Para uma melhor compreensão da classificação de Goulart e Callisto (2003) quanto à tolerância frente às adversidades ambientais, foi criada um esquema que divide os ambientes classificados como em preservados, de baixo impacto e alto impacto, distribuindo os organismos bentônicos de acordo com o limite de tolerância (APÊNDICE 1).

Entre os insetos aquáticos os grupos Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT), compõem-se ricas assembleias em riachos pedregosos de baixa e média ordem. Esses organismos são sensíveis a perturbações ambientais e ocorrem em águas limpas e bem oxigenadas. Portanto, as assembleias EPT são frequentemente consideradas bons indicadores de qualidade da água (ROSENBERG; RESH, 1993).

Para a classificação da comunidade bentônica quanto ao tamanho dos organismos são comumente utilizadas peneiras de diferentes tamanhos de abertura de malha (Quadro 1) (ESTEVES, 2011):

**Quadro 1** - Classificação de organismos bentônicos, quanto ao tamanho da malha utilizada para lavar amostras e separá-los do sedimento.

Classificação	Tamanho (mm)	Características
Microbentos	< 0,3 mm	Composto por pequenos organismos como: protozoários, gastrotríqueos e rotíferos.
Mesobentos	0,3 a 0,8 mm	Nos ecossistemas lacustres é normalmente composto por: harpaticoides, ostrácodes, nematoides, copépodos, pequenos anelídeos.
Macrobentos	> 1,0 mm	Organismos visíveis a olho nu. Principalmente: moluscos,

		anelídeos, larvas de insetos, crustáceos (anfípodes, isópodes e decápodos).
--	--	---

Fonte: Esteves, 2011.

Esteves (2011) afirmava que existe uma grande diversidade nos grupos taxonômicos da macrofauna bentônica que colonizam o sedimento dos ecossistemas continentais, podendo ser encontrados em ambientes rasos e regiões litorâneas ou lacustres, como áreas de retenção de folhijo (lóticos) e de corredeiras, locais propício para comunidades complexas e de elevada biodiversidade, ou podem ser até encontrados em sedimentos profundos e ambientes eutrofizados que são habitados geralmente por uma comunidade simples e de baixa diversidade.

A ocorrência dos grupos taxonômicos também é influenciada por diversos fatores abióticos e bióticos, dentre eles pode-se destacar a concentração de oxigênio dissolvido, a natureza física do sedimento (granulometria e grau de compactação), a disponibilidade de alimento (quantidade e qualidade da matéria orgânica sedimentar), e as relações bióticas entre os diferentes grupos taxonômicos presentes (WETZEL, 2001).

As famílias de Trichoptera têm suas afinidades por determinados ambientes, as Helycopsychidae, Odontoceridae e Leptoceridae geralmente são encontradas em tubos feitos com fragmentos de folhas e grãos de areia em locais de águas mais limpas e solo arenoso, já alguns táxons de Hydropsychidae às vezes são encontradas em ambientes lóticos mais turvos, lentos e levemente poluídos (WIGGINS, 1987). Já Chironomidae e Oligochaeta em geral são os mais abundantes nos ecossistemas aquáticos e considerados resistentes a poluição (DORNFELD, 2002).

Nesse sentido, Queiroz et al. (2008) observaram nos seus estudos realizados em Juazeiro no estado da Bahia, que nos locais próximos a despejos dos esgotos da cidade, bem como da indústria de curtume, havia uma grande representatividade do grupo Quironomídeo, do gênero Chironomus. Em contra partida, em locais a montante das cidades e, possivelmente com baixo impacto antrópico, foram encontrados os grupos mais sensíveis como, por exemplo, alguns Efemerópteros das famílias Leptophlebiidae e Baetidae e Tricópteros da família Helichopsychidae. Paula (2014) em seu estudo avaliou que o processo de sedimentação que vem ocorrendo nas estações estudadas do riacho Campininha localizada no município de Sorocaba, estado de São Paulo, acabou afetando a comunidade bentônica e por

consequência aumentou a quantidade de famílias de média e alta tolerância à poluição. Concluiu ainda que os macroinvertebrados bentônicos são importantes bioindicadores de qualidade da água, graças as suas respostas imediatas aos diversos tipos de impactos nos corpos hídricos.

### *2.2.1 Distribuição dos zoobentos e processos de transporte*

Interações bióticas como competição, predação, parasitismo, simbiose são fatores que realizam forte pressão sobre as comunidades bentônicas, além dos fatores abióticos como pH, disponibilidade de luz, disponibilidade e qualidade do alimento, nutrientes, etc., que auxiliam na estruturação destes organismos. Os principais fatores que controlam a distribuição dos organismos zoobentônicos são: disponibilidade e qualidade do recurso alimentar, tipo do sedimento (granulometria, teor de matéria orgânica, grau de compactação), tipo de substrato (rocha, troncos, macrófitas aquáticas, folhiço) (ESTEVES, 2011).

Tipo de substrato, concentração de matéria orgânica nele existente, transporte de sedimento e velocidade da corrente são fatores físicos, químicos e biológicos que regulam e monitoram a fisiologia e a distribuição dos macroinvertebrados bentônicos. Além destes já citados, a temperatura da água e a concentração de oxigênio dissolvido são outros fatores essenciais que determinam o ótimo para a reprodução e o gradiente de sobrevivência das espécies bentônicas (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

A velocidade da corrente e as características morfológicas do rio são aspectos importantes que interferem no tamanho das partículas de areia. Os rios geralmente depositam material particulado muito fino ( $< 20\mu\text{m}$ ) a jusante em regiões de menor velocidade, como os remansos e material de tamanho maior a montante. Partículas de material em suspensão inorgânico ou orgânico são transportadas pelo rio, além delas, existe um transporte contínuo de restos de vegetação (folhas e detritos) os quais servem de alimento para um conjunto de organismos que processam esse material. O processamento deste material gera uma transformação na matéria orgânica ao longo do rio, de maneira que a jusante existe uma maior concentração de matéria orgânica dissolvida e material fino particulado. O sedimento orgânico ou inorgânico que é transportado pelos rios resulta dos processos de erosão nas bacias hidrográficas e da erosão das margens (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

As estações secas e chuvosas também influenciam na distribuição dos organismos bentônicos em seu habitat, de acordo com Hauer e Resh (1996) os períodos secos e chuvosos alteram a disponibilidade de alimento, as características do substrato e refúgio. Baptista (2001) afirma que durante a estação seca, geralmente existe uma maior diversidade e alta riqueza de macroinvertebrados bentônicos, resultado da disponibilidade do habitat e maior estabilidade. Nesta estação os substratos são afetados em menor intensidade pelo fluxo de água, o que possibilita um período maior de colonização e o processamento da matéria orgânica realizado pelos macroinvertebrados bentônicos.

A precipitação pluviométrica interage com os fatores locais como a declividade e as características das margens (e.g. com ou sem cobertura vegetal), alterando a velocidade, a vazão e a disponibilidade de oxigênio, entre outros, os quais podem causar grande impacto sobre fauna de insetos aquáticos. (YOKOYAMA et al., 2012).

Yokoyama et al. (2012) ainda afirma que estação chuvosa pode gerar efeitos sobre a composição da fauna bentônica, para alguns dos organismos a chuva significa novas chances de colonização, enquanto que para outros ela pode significar um vento desastroso. Consequentemente, acredita-se que possíveis perturbações no substrato em virtude da resposta dos organismos com a ocorrência das chuvas acabem afetando a composição da fauna bentônica nas estações seca e chuvosa. Na estação chuvosa, normalmente os rápidos aumentos de vazão são intensos e frequentes, aumentando o deslocamento do substrato e, consequentemente, diminuindo a densidade (BISPO et al., 2006).

### 2.2.2 *Comunidade bentônica na ciclagem de nutrientes*

A comunidade zoobentônica tem uma grande importância na ciclagem de nutrientes nos ecossistemas aquáticos e no fluxo de energia, devido ao fato da maioria dos organismos bentônicos participarem fortemente no processo de decomposição da matéria orgânica. Uns fragmentam a matéria orgânica quimicamente (por ação enzimática, através da ingestão e digestão), outros mecanicamente (cortando e retalhando grandes fragmentos), como consequência, diminuem o tamanho das partículas, ocasionando um aumento das taxas de decomposição do material orgânico, principalmente por fungos, leveduras e bactérias (ESTEVES, 2011).

A liberação de nutrientes do sedimento para a coluna d'água, através da atividade mecânica de muitos destes organismos zoobentônicos nos sedimentos aquáticos, é um processo de grande importância denominado “bioturbação” ou “biorrevolvimento”. A comunidade bentônica é considerada um importante estoque de nutrientes (carbono, nitrogênio, fósforo), devido ao acúmulo de nutrientes na sua biomassa em concentrações distintas das apresentadas pelos detritos sedimentares. Estes nutrientes são transferidos juntamente com a energia ao longo das cadeias tróficas e também para outros níveis tróficos no próprio compartimento bentônico. Bioturbação é a alteração da estrutura do sedimento, ou a atividade de transporte de soluto ou matéria particulada causada por animais que habitam o sedimento de ambientes aquáticos. A intensidade do processo de bioturbação pode ser variada em função do tamanho dos corpos dos animais bentônicos ou pela intensidade das atividades vertical e horizontal e vertical destes organismos no sedimento (ESTEVES, 2011).

Ao forçar a propagação do processo de bioturbação, ocorre o fornecimento maior do oxigênio ao sedimento, estimulando assim o consumo pelas bactérias. Diversos estudos provam que espécies como *Oligochaeta* e as larvas de *Chironomidae* agilizam as trocas de nutrientes entre a água e o sedimento, modificando marcadamente os gradientes de pH e potencial redox. Por consequência, a atividade da macrofauna bentônica colabora para acelerar e internalizar a circulação de elementos nos ecossistemas aquáticos (WETZEL, 2001).

### **2.3 Funcionamento de Ecossistemas Fluviais**

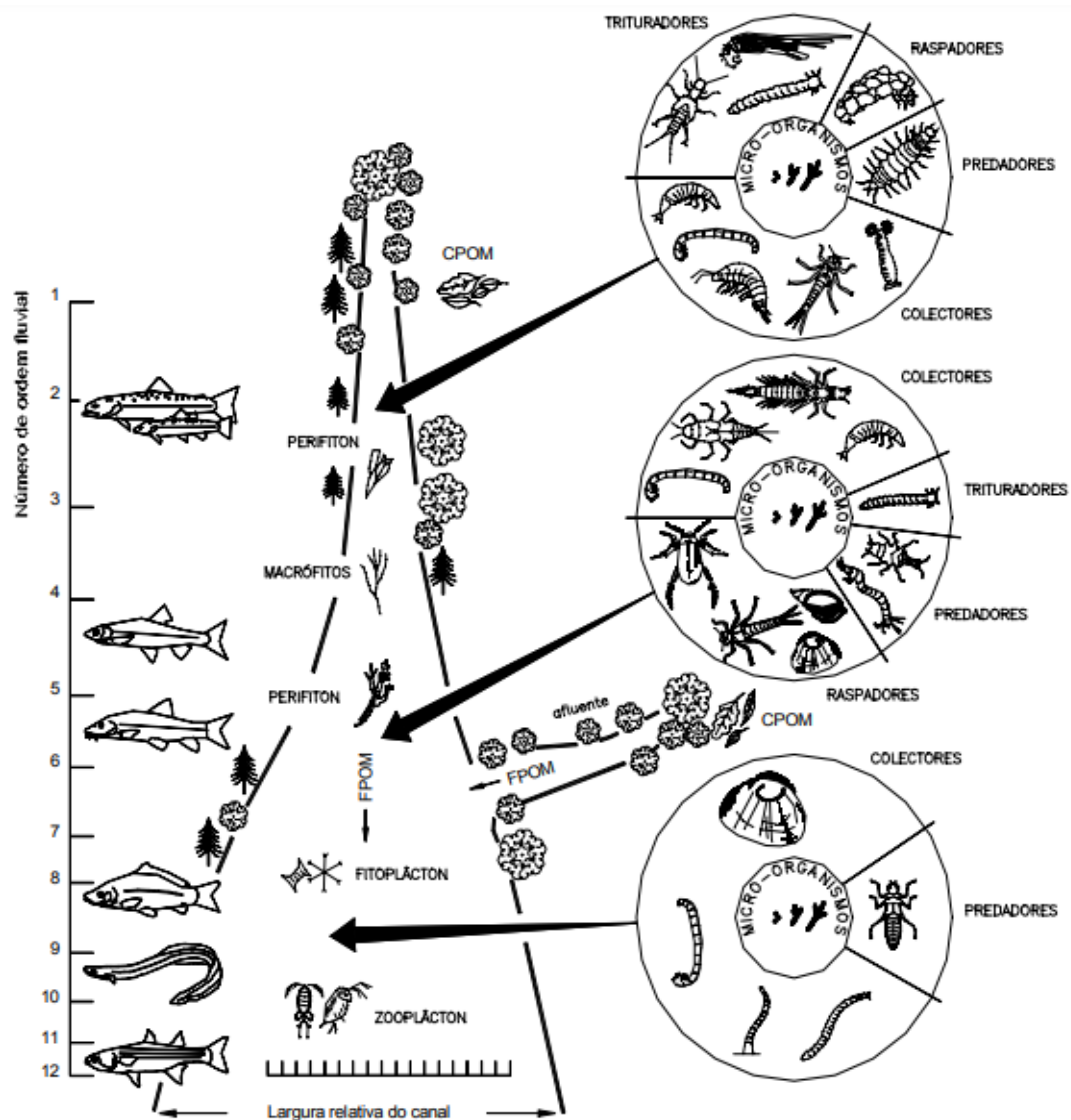
Ferreira (2006) considera que oito teorias de grande importância direcionam atualmente a gestão dos sistemas fluviais e a ecologia, essas teorias são premissas que elaboram concepções de conjunto em relação às funções e processos que procedem nos ecossistemas aquáticos, ou seja, descrevem o funcionamento dos ecossistemas, dentre elas podem ser citadas: teoria do sistema fluvial a quatro dimensões, teoria do sistema fluvial multiescalonado, teoria do mosaico dinâmico, teoria do rio contínuo, teoria da espiral de nutrientes, teoria da perturbação intermédia, teoria da pulsação de cheias e teoria da descontinuidade serial expandida.

Em especial, a teoria do rio contínuo descrita por Vannote et al. (1980) propõe que a distribuição das comunidades ao longo do eixo longitudinal da bacia se dá em função da variação das características físicas e químicas definidas pela geomorfologia e geologia, além



do aporte das fontes alimentares alóctones. De forma que as comunidades são distribuídas de acordo com três zonas: cabeceiras (ordens 1-3) são geralmente rios de pequena extensão cercados por vegetação ribeirinha; córregos de médio porte (ordens 4-6) são rios mais largos se comparados com a zona anterior e aumenta o aporte de nutrientes e materiais mais finos; rios grandes (ordem >6) recebem contribuição de folhas degradadas, detritos lenhosos e matéria orgânica particulada fina processada a montante. É importante salientar que a teoria do contínuo do rio foi desenvolvida exclusivamente para os ecossistemas naturais e não perturbados (VANNOTE et al., 1980).

**Figura 3** - Relação proposta entre o tamanho do riacho, o número de ordem fluvial, as fontes energéticas e a mudança progressiva nos atributos estruturais e funcionais das comunidades lóticicas.



Fonte: Ferreira (2006).

Observa-se na Figura 3 as variações na estrutura morfológica e comportamental dos invertebrados de água corrente, por conta do tamanho do canal do riacho que reflete em modificações na localização e tipo das fontes energéticas. Em relação as suas funções no ambiente, os organismos podem ser classificados como trituradores, coletores, raspadores e predadores. Os trituradores têm certa dependência da parte viva da matéria orgânica particulada grossa como serapilheira; os coletores coletam a matéria orgânica particulada fina dos sedimentos ou filtram do transporte, tal como os trituradores eles também dependem dos materiais frutos do metabolismo microbiano e da biomassa microbiana agregada as partículas; os raspadores cisalham organismos vinculados as superfícies, especialmente as algas; os predadores não variam muito com a ordem do fluxo do canal (VANNOTE et al., 1980).

Esta classificação das categorias funcionais de alimentação dos macroinvertebrados bentônicos auxilia no monitoramento ambiental por fornecer uma compreensão das alterações ambientais. Geralmente um aumento no número de coletores pode indicar um enriquecimento orgânico, já se aumentar os organismos raspadores pode ser um indicativo da saída de nutrientes da água (sistema) (MACKIE, 1998).

#### **2.4 Considerações sobre a bacia hidrográfica do rio Sergipe.**

A Bacia Hidrográfica do rio Sergipe, possui uma área total de 3.753,81 km<sup>2</sup> situa-se na região nordeste do estado de Sergipe e tem aproximadamente 210 km de extensão que vai desde sua nascente, no município de Pedro Alexandre, no Estado da Bahia, até desaguar no oceano Atlântico, em Aracaju. A Bacia do rio Sergipe, é composta por cinco Unidades de Planejamento (UP), são elas: Alto Sergipe, Baixo Sergipe, Cotinguiba, Jacarecica e Poxim (SERGIPE, 2015; SERGIPE, 2002).

Em comparação com as seis bacias hidrográficas do Estado, a bacia do rio Sergipe exhibe a maior diversidade de conflitos pela água e seus usos. O número elevado de habitantes e as diversas atividades econômicas originam um ambiente com forte consumo dos recursos naturais e exploração, o que acaba transformando a região propícia a intensas ações que envolvem o meio ambiente. A bacia hidrográfica do Rio Sergipe passa por três regiões da geografia física do Estado de Sergipe: Semiárido, Agreste e Litoral, e engloba vinte e seis municípios dentre os quais dezoito municípios estão inseridos de forma parcial nesta Bacia e os oito restantes possuem a totalidade de suas terras inseridas nesta Bacia, conforme Quadro 2 a seguir. (SILVA, 2013; SERGIPE, 2002).

**Quadro 2 - Municípios incluídos na Bacia Hidrográfica do rio Sergipe.**

<b>Municípios Totalmente Inseridos na Bacia</b>	
Laranjeiras	Nossa Senhora do Socorro
Malhador	Riachuelo
Moita Bonita	Santa Rosa de Lima
Nossa Senhora Aparecida	São Miguel do Aleixo
<b>Municípios Parcialmente Inseridos na Bacia</b>	
Aracaju	Itaporanga D'Ajuda
Areia Branca	Maruim
Barra dos Coqueiros	Nossa Senhora da Glória
Carira	Nossa Senhora das Dores
Divina Pastora	Ribeirópolis
Feira Nova	Rosário do Catete
Frei Paulo	Santo Amaro das Brotas
Graccho Cardoso	São Cristóvão
Itabaiana	Siriri

Fonte: Sergipe (2002).

A concentração de sais do rio Sergipe diminui de montante para jusante, o que mostra que a qualidade da água do rio Sergipe apresenta uma grande variação, nas regiões localizadas no trecho inferior da Bacia compostas por rochas sedimentares e grande incidência de chuva, as águas possuem um baixo teor de salinidade. O que se explica graças, a esses dois elementos que permitem uma boa circulação, recarga e conteúdo de sais, que diminui sua concentração de montante para jusante, em consequência do aporte de águas com baixo teor de salinidade proveniente das regiões situadas no trecho inferior da Bacia, formadas por rochas sedimentares e nas quais a incidência de chuvas é maior. Estes dois fatores possibilitam uma boa recarga, circulação e elevada reestruturação das águas subterrâneas que mantêm os afluentes recarregados e proporcionam a esse rio um regime permanente. Em contra partida, as regiões situadas no médio e alto curso do Rio Sergipe são de baixa e média qualidade físico-química e com baixas vazões se comparadas ao curso inferior, devido à presença de rochas cristalinas com capacidade de modificar-se (SERGIPE, 2002).

Quanto à classificação do uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe, foram identificadas as seguintes classes: Solo Urbano/Solo Construído; Corpos

d'Água; Vegetação Nativa; Cultivo Agrícola de Cana-de-açúcar; Outros Cultivos; Cultivo Agrícola de Milho; Pastagem e Solo Exposto, como mostra a Tabela 1 (SERGIPE, 2015).

**Tabela 1** - Classes de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe.

Classes	Área (ha)	%
Solo Urbano/Solo Construído	17.375,32	4,70
Corpos d'Água	3.781,42	1,02
Vegetação Nativa	88.227,82	23,88
Pastagem	94.103,53	25,48
Cultivo Agrícola de Cana-de-Açúcar	11.084,16	3,00
Cultivo Agrícola de Milho	11.648,69	3,15
Outros Cultivos Agrícolas	2.970,27	0,80
Solo Exposto	140.195,42	37,95
Total	369.386,63	100,00

Fonte: Sergipe, 2015.

Os principais aspectos econômicos da Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe são a produção industrial, o agronegócio, a irrigação, o comércio, a prestação de serviço, a pesca e a mineração. Há uma maior diversidade nas culturas agrícolas devido a grande ocorrência bastante expressiva da irrigação na região da bacia, o que permite uma maior diversificação nas suas culturas agrícolas. Entretanto, sérios danos vêm sendo causados aos rios que a integra, por conta do uso desordenado dos fluxos da bacia acarretando a deterioração do ecossistema. O PIB (Produto Interno Bruto) é um importante parâmetro econômico para uma região, o PIB do estado de Sergipe é de R\$ 23.932.155 milhões e o da bacia do rio Sergipe é da ordem de R\$12.411.340 milhões, correspondente a 52% do PIB do estado (SERGIPE, 2015).

### 3. JUSTIFICATIVA

A bacia do Rio Sergipe abriga mais da metade da população do estado apresentando uma grande concentração populacional, este aumento traz consigo uma pressão sobre o ecossistema e impactos ambientais como, por exemplo, crescimento irregular no abastecimento de água, mau uso da água podendo servir como veículo de transmissão de doenças que poderão ser disseminadas para toda a comunidade usuária, pesca predatória e ampliação do número de indústrias e empreendimentos agrícolas implantados na região, problemas de contaminação por resíduos sólidos, perda de áreas naturais pelo desmatamento e aterro dos manguezais, degradação dos corpos hídricos acarretada por lançamentos de efluentes (ALVES, 2006).

No tocante a caracterização da bacia do rio Sergipe, existem poucos estudos que abordam as condições físicas, químicas e bióticas desse sistema como um todo, podendo ser citados os estudos de Lessa e Silva (2014) que avaliaram os parâmetros físicos-químicos e conforme os resultados, o oxigênio dissolvido apresentou resultados abaixo do padrão exigido pela Resolução CONAMA 357/2005, enquanto que o parâmetro coliforme fecal mostrou-se elevado nas estações de análise. Os autores concluíram que as ações antrópicas contribuíram para a degradação do rio por meio do lançamento de efluentes sanitários sem o devido tratamento, comprometendo a qualidade da água do Rio Sergipe. Já Vasco (2011) ao monitorar e analisar a qualidade das águas do Rio Poxim (SE) utilizando parâmetros físico-químicos e microbiológicos percebeu o grande impacto de matéria orgânica em sua maioria, decorrente de contaminantes agrícolas e lançamentos de esgotos.

Nessa conjuntura, fica evidente a grande importância deste rio não apenas para as populações locais, quanto ao abastecimento urbano, turismo, irrigação, pesca e lazer, mas também em consideração a biota deste ambiente. É necessário, portanto, que hajam mais estudos de monitoramento ambiental desta Bacia Hidrográfica, que abordem o uso de bioindicadores aliado aos parâmetros físico-químicos, visando caracterizar a comunidade bentônica, avaliar a qualidade da água e sedimento, atenuar os impactos mais presentes (lançamentos de esgotos domésticos, industriais, resíduos sólidos, desmatamento, impactos agrícolas) que ocasionam desequilíbrio no ecossistema aquático e nos fatores econômico e social da bacia, permitindo assim, a preservação da biodiversidade e a utilização racional dos seus recursos naturais.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar os impactos ambientais da bacia do rio Sergipe, por intermédio das análises físico-químicas e biológicas da água e sedimento, utilizando macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade ambiental.

### **4.2 Objetivos Específicos**

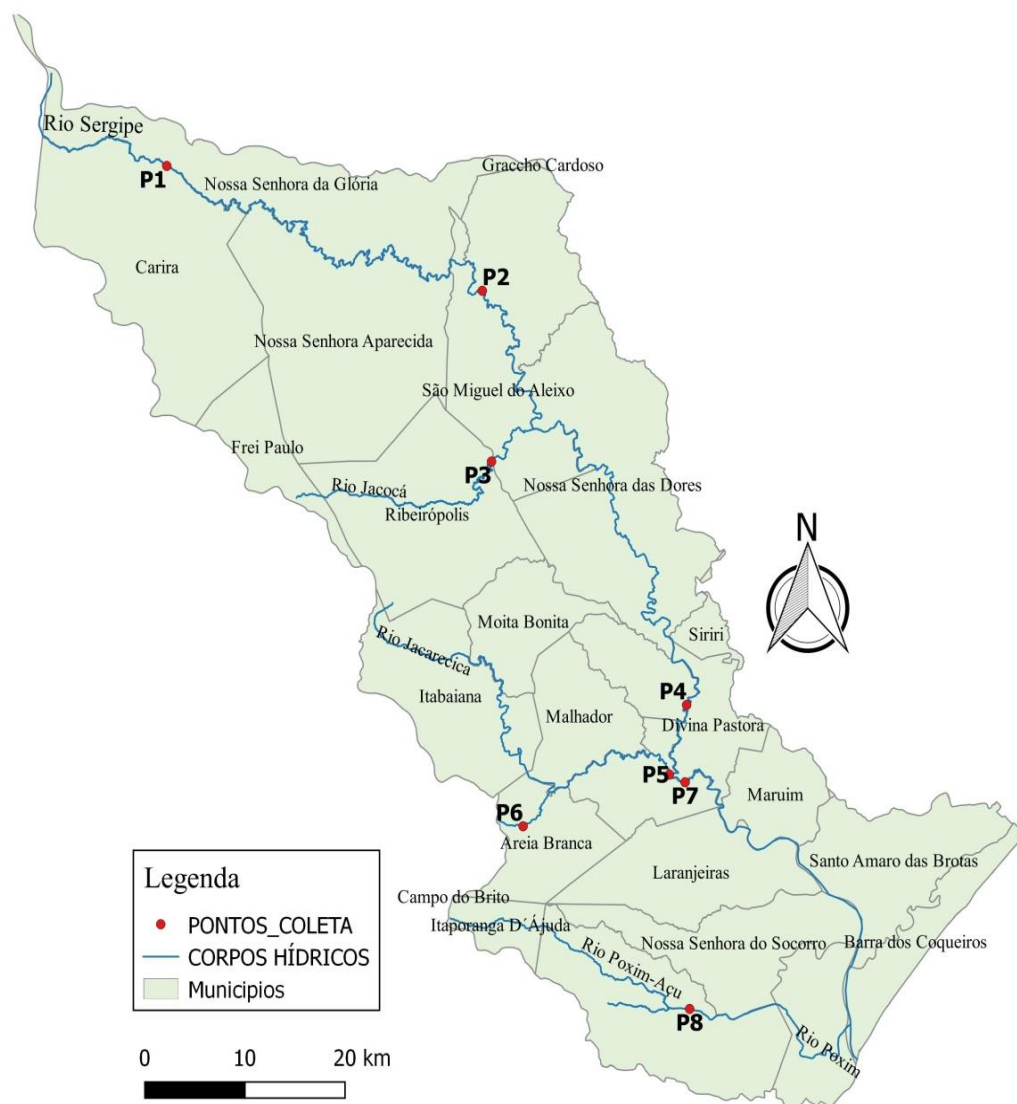
- Realizar a caracterização física, química e biológica da água e do sedimento dos principais rios da bacia do rio Sergipe;
- Avaliar a composição de espécies, abundância e diversidade da comunidade bentônica, associando-a com as características físicas e químicas da bacia do rio Sergipe.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende alguns trechos do Rio Sergipe e seus tributários pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Sergipe. Nesse sentido, foram escolhidos 08 pontos de coleta que compreendem o eixo longitudinal, da nascente à foz do rio Sergipe, conforme a Figura 4.

**Figura 4** - Pontos de coleta da bacia hidrográfica do Rio Sergipe.




Fonte: Adaptado (SEMARH, 2014).

## 5.2 Pontos de Amostragem e periodicidade das coletas

As coletas das amostras ambientais foram realizadas em duas campanhas, assim discriminadas: no período chuvoso nos dias 29 e 30 de agosto de 2017, e no período seco nos dias 05 e 06 de março de 2018, de modo a obter um ciclo sazonal completo. O rio Sergipe dispõe de 03 regiões climáticas com predominância da região subúmida representando 45% da bacia, seguida das regiões semiárida e agreste que representam, respectivamente, 32% e 23%. O regime pluviométrico da bacia hidrográfica do rio Sergipe caracteriza-se pela concentração das chuvas entre os meses de abril a agosto, a precipitação anual é de aproximadamente 68% neste período chuvoso, e o período seco entre os meses de setembro a março (SERGIPE, 2014).

As coletas foram feitas em 08 pontos escolhidos levando em consideração o uso e ocupação da bacia hidrográfica do Rio Sergipe, optando distribuir as estações em regiões mais críticas em relação à qualidade de água e sedimento com atividades voltadas para a agricultura, pastagens e urbanização, conforme apresentado no Quadro 3.

**Quadro 3** - Localização e descrição dos pontos de coleta da bacia hidrográfica do Rio Sergipe.

Pontos de coleta	Descrição
<p><b>Ponto de coleta – P1</b></p> 	<p><b>Localização:</b> Trecho da bacia do rio Sergipe situado no município de Carira (SE), próximo à rodovia sob a ponte José Iran Dutra.</p> <p><b>Uso do solo:</b> Forte influência de pastagem e agricultura, principalmente cultivo de cana-de-açúcar e milho. Há também indústrias de laticínios em funcionamento na região.</p> <p><b>Latitude:</b> 10°12'42.8" S  <b>Longitude:</b> 37°40'2.1" O</p>
<p><b>Ponto de coleta – P2</b></p>	<p><b>Localização:</b> Trecho da bacia do rio Sergipe situado entre os municípios de Feira Nova e São Miguel do Aleixo.</p> <p><b>Uso do solo:</b> Forte influência da</p>



	<p>agricultura, principalmente cultivo de milho, pastagem. Apresenta estreita faixa de vegetação nativa.</p> <p><b>Latitude:</b> 10°18'56.6" S  <b>Longitude:</b> 37°22'43.9" O</p>
<p><b>Ponto de coleta – P3</b></p> 	<p><b>Localização:</b> Trecho do rio Jacoca situado no município de Ribeirópolis.</p> <p><b>Uso do solo:</b> Predominância de agricultura e pastagem, com ocupação das margens por vestígios de vegetação nativa.</p> <p><b>Latitude:</b> 10°27'34.2" S  <b>Longitude:</b> 37°22'10.9" O</p>
<p><b>Ponto de coleta – P4</b></p> 	<p><b>Localização:</b> Trecho da bacia do rio Sergipe situado sob a ponte na região entre os municípios de Santa Rosa de Lima e Divina Pastora.</p> <p><b>Uso do solo:</b> Influência da pastagem e agricultura, as margens com vestígios de mata de galeria.</p> <p><b>Latitude:</b> 10°39'48.7" S  <b>Longitude:</b> 37°11'25.5" O</p>
<p><b>Ponto de coleta – P5</b></p> 	<p><b>Localização:</b> Trecho do rio Jacarecica situado no município de Riachuelo.</p> <p><b>Uso do Solo:</b> Influência de atividades de extração de areia, cultivo de cana-de-açúcar, agropastoril, poços de perfuração de petróleo.</p> <p><b>Latitude:</b> 10°43'19.9" S  <b>Longitude:</b> 37°12'21.1" O</p>

<p><b>Ponto de coleta – P6</b></p> 	<p><b>Localização:</b> Trecho do riacho água fria situado no Parque Nacional da Serra de Itabaiana, no município de Areia Branca.</p> <p><b>Uso do solo:</b> Área de Preservação Ambiental.</p> <p><b>Latitude:</b> 10°45'59.4" S  <b>Longitude:</b> 37° 20' 21.2" O</p>
<p><b>Ponto de coleta – P7</b></p> 	<p><b>Localização:</b> Trecho da bacia do rio Sergipe situado na região do município de Riachuelo (SE).</p> <p><b>Uso do solo:</b> Influência de área urbana, lavagem de animais, lançamento de esgoto doméstico.</p> <p><b>Latitude:</b> 10°43'42.9" S  <b>Longitude:</b> 37°11'29.2" O</p>
<p><b>Ponto de coleta – P8</b></p> 	<p><b>Localização:</b> Trecho do rio Poxim situado no município de São Cristóvão (Instituto Federal de Sergipe -IFS Rural).</p> <p><b>Uso do solo:</b> Influência de área urbana com vegetação de galeria preservada.</p> <p><b>Latitude:</b> 10° 55'10" S  <b>Longitude:</b> 37° 11' 10.1" O</p>

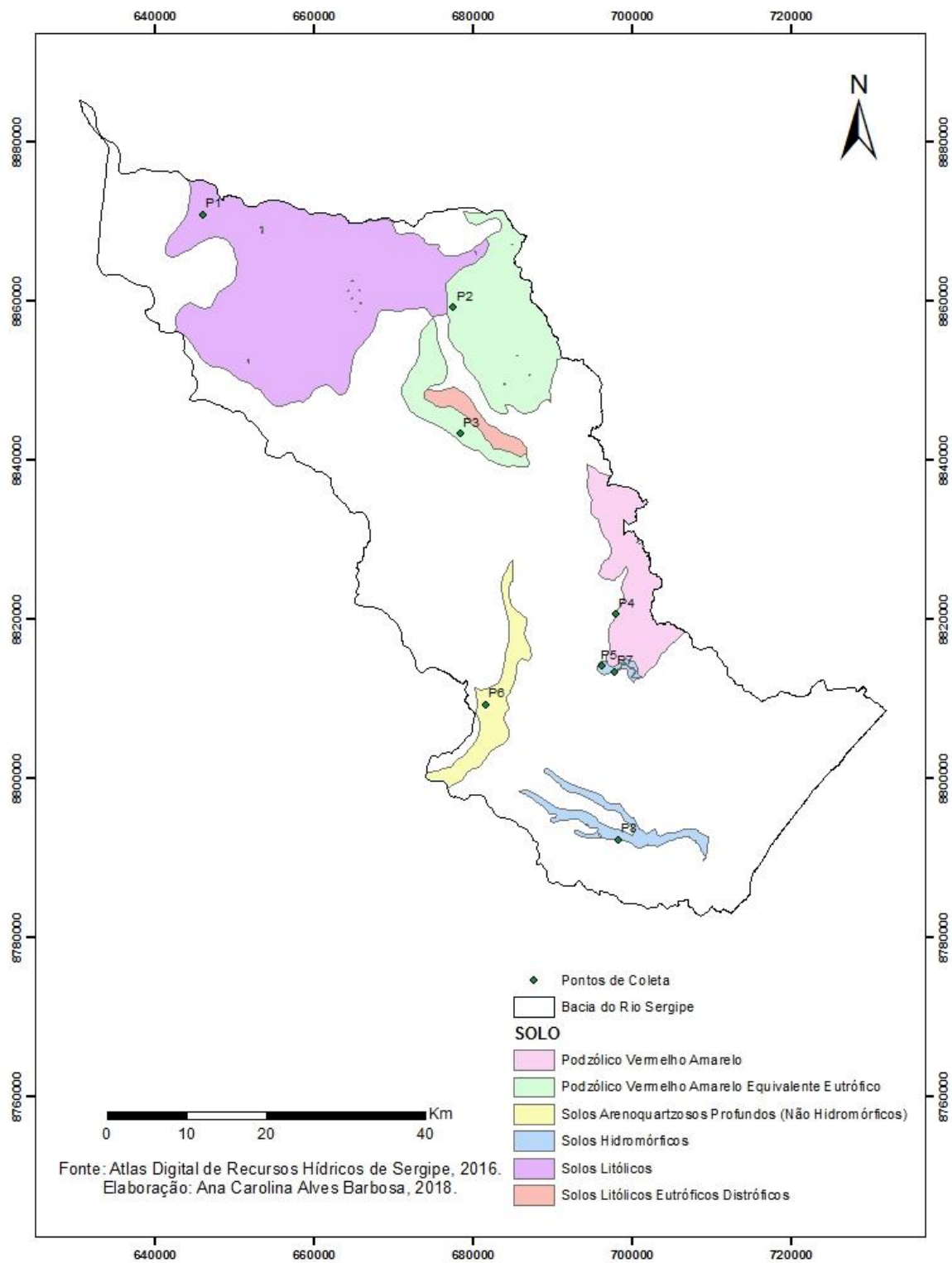
Baseando-se no Levantamento exploratório e reconhecimento de solos do estado de Sergipe realizado por Jacomine et al. (1975) foi possível classificar os solos dos pontos de coleta do referido estudo. O Quadro 4 mostra a classificação e as características dos solos nos 08 pontos de coleta. Para ilustrar os tipos de solo foi elaborada a Figura 5 que destaca a classificação dos solos em cada ponto de coleta na bacia do rio Sergipe de acordo com o Levantamento de Jacomine et al. (1975). Já a Figura 6 apresenta a nova classificação dos solos nos pontos de coleta, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (2006).

**Quadro 4** - Classificação dos solos nos pontos de coleta situados ao longo da bacia do rio Sergipe.

CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS NOS PONTOS DE COLETA			
PONTOS	SOLOS	NOVA CLASSE	CARACTERÍSTICAS
P1	Solo Litólico	NEOSSOLOS	<i>Caráter eutrófico:</i> Horizonte A, reação moderadamente ácida (pH 5,7 a 6,5), saturação de bases (V%) de 50 a 85% e alumínio trocável ausente.; <i>Caráter distrófico:</i> Horizonte A, a reação é fortemente ou moderadamente ácida, com pH de 4,7 até valores superiores a 6,0, saturação de bases (V) de 18 a 45% e o alumínio trocável com valores baixos a altos.
P2, P3	Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico	LUVISSOLOS	Horizonte B textural, não hidromórficos, comumente com baixa atividade de argila, média a alta saturação de bases (V%), baixa saturação com alumínio, moderada ou baixa acidez.
P4	Podzólico Vermelho Amarelo	ARGISSOLOS	Horizontes B textural, não hidromórficos, com argila de atividade baixa, saturação de bases baixa (< 50%) fortemente ácidos e de baixa fertilidade natural.
P5, P7, P8	Solos Hidromórficos	VERTISSOLOS	Solos argilosos ou muito argilosos predominância de argila 2:1, bem providos de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K), baixos teores de fósforo assimilável e nitrogênio.
P6	Solos Arenoquartzosos Profundos (Não Hidromórficos)	NEOSSOLOS	Solos distróficos, moderado a extremamente ácido, cuja saturação de bases (V%) é baixa a muito baixa na parte subsuperficial, alumínio trocável alto, alto teor de alumínio.

Fonte: Modificado de Jacomine et al. (1975).

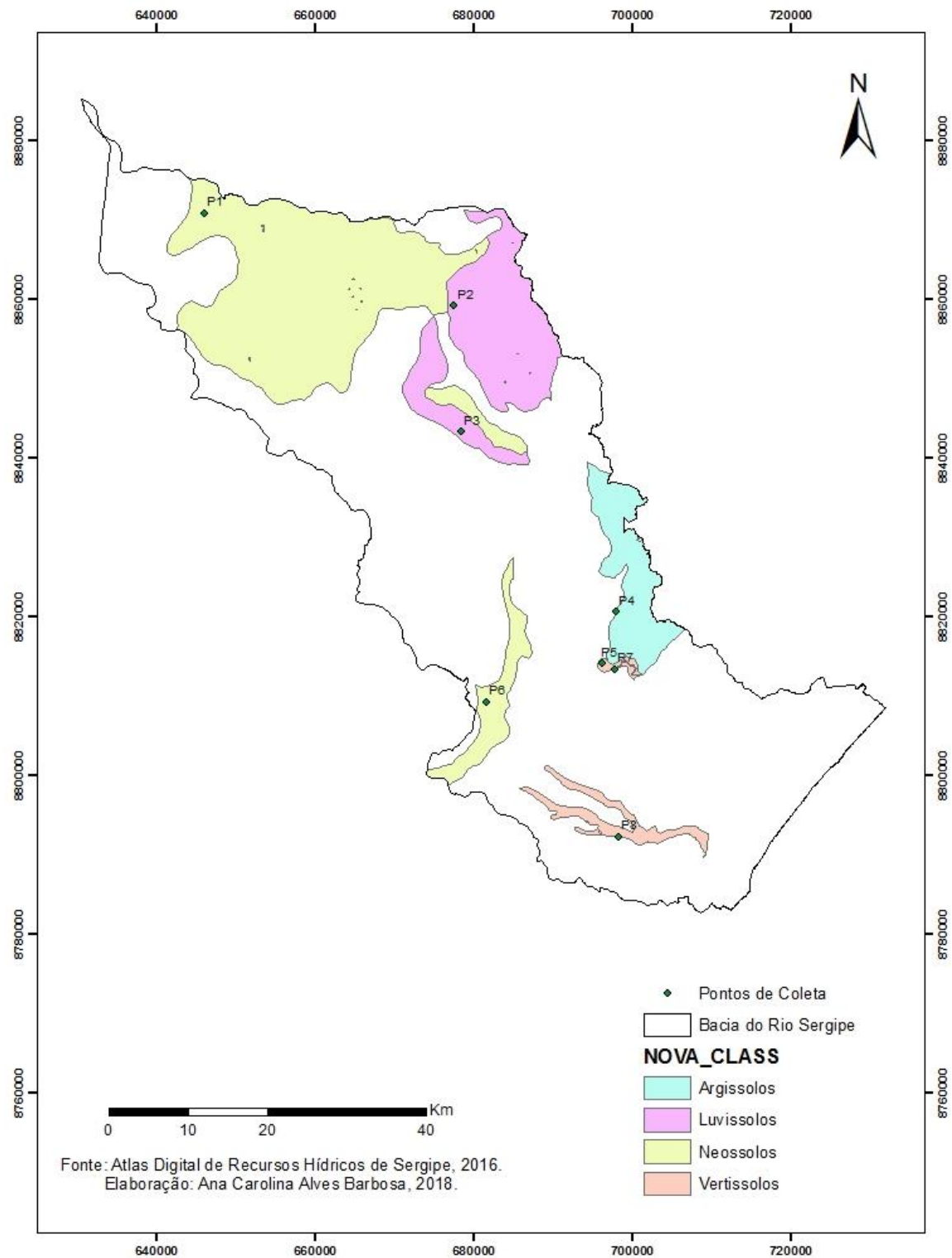
**Figura 5** - Caracterização da pedologia dos pontos de coleta localizados na bacia do rio Sergipe, seguindo Jacomine et al. (1975).



Fonte: Autor (2018).



**Figura 6 -** Reclassificação da pedologia do solo nos pontos de coleta localizados na bacia do rio Sergipe, seguindo a Embrapa (2006).



Fonte: Autor (2018).

### 5.3 Análise Físico-Química e Biológica da Água

Foram realizadas medidas *in situ* das variáveis: pH, oxigênio dissolvido, temperatura, condutividade e salinidade da água, utilizando-se um medidor portátil multiparâmetro, marca e modelo HANNA-HI2040 Edge®. Para a coleta das amostras de água foram utilizados os próprios recipientes de armazenamento, galões de polietileno com capacidade de 10 litros, a coleta foi feita de modo que a abertura do recipiente ficasse no sentido contrário a correnteza e após preenchimento dos recipientes teve-se o cuidado para manter um espaço vazio no frasco, para sua posterior homogeneização. Coletaram-se apenas amostras de água superficial.

Em recipientes de polietileno com menor capacidade (2 litros) foram armazenados o restante das amostras para as demais análises. Para a análise de metais foi feito um procedimento de preservação das amostras adicionando o volume de 1,5 ml de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) nas amostras de água de cada ponto de coleta.

Visando a preservação das amostras de água, os recipientes foram acondicionados e preservados em gelo até o momento da análise. No Quadro 5, a seguir, encontram-se os métodos adotados para cada análise.

**Quadro 5** - Metodologia para as análises dos parâmetros físico-químicos e biológicos realizadas no presente estudo.

Variável	Metodologia	Referência
<b>Temperatura (°C)</b>	Medidor portátil	-
<b>pH</b>		
<b>Salinidade</b>		
<b>Condutividade elétrica (µS/cm)</b>		
<b>Oxigênio dissolvido (mg/L)</b>		
<b>Íon amônio (µg/L)</b>	Espectrofotometria	KOROLEFF (1976)
<b>Nitrogênio orgânico total (mg/L)</b>	Espectrofotometria	APHA (1995)
<b>Fósforo total e dissolvido (µg/L)</b>	Espectrofotometria	APHA (1995)
<b>Coliformes termotolerantes (NMP)</b>	Colorimétrico	APHA (2012)
<b>Materiais em Suspensão total e orgânico</b>	Gravimetria em filtros GF/C	TEIXEIRA et al. (1965)
Metais (Ca, Fe, Mg, Mn, Al, Ba e S) (mg/L)	Espectrofotometria de absorção atômica	APHA (1995)

Fonte: Autor (2018).

#### 5.4 Amostragem de Sedimento e Ensaio Granulométrico

As amostras de sedimento foram obtidas com o auxílio de um coletor adaptado tipo *core sampler*. Coletou-se uma amostra de aproximadamente 2 kg de sedimento de cada ponto de coleta em triplicata, para posteriores análises de comunidade bentônica, granulometria e matéria orgânica. Durante a coleta, parte das amostras foram armazenadas em caixas térmicas resfriadas e no laboratório em freezer com temperatura aproximada de 4 °C.

A análise da fração de matéria orgânica no sedimento foi realizada pelo método de incineração em mufla descrito por Trindade (1980). A determinação da fração granular do sedimento obedeceu às instruções estabelecidas pela ABNT NBR 7181:1968, o resultado da análise foi expresso com o auxílio do *software* GRADISTAT® e a classificação granulométrica seguiu a metodologia descrita por Folk e Ward (1957).

Já para a macrofauna bentônica as amostras coletadas foram lavadas previamente no campo em uma rede com abertura de malha de 210 µm, em seguida fixadas em formol a 5% e coradas com o corante vital Rosa de Bengala para posterior análise. No laboratório, o sedimento foi lavado em água corrente utilizando a mesma rede com abertura de 210 µm (Figura 7), e o material retido na peneira foi separado em bandeja transiluminada (Figura 8), para posterior triagem dos organismos bentônicos, os quais foram acondicionados em álcool 70% para identificação.

**Figura 7** - Rede com abertura de malha de 210  $\mu$ m utilizada para lavagem de amostras dos organismos bentônicos.



Fonte: Autor (2018).

**Figura 8** - Bandeja transiluminada utilizada na triagem dos organismos bentônicos.



Fonte: Autor (2018).



Para a identificação dos organismos bentônicos foi utilizado o microscópio estereoscópico, de forma a alcançar o menor nível taxonômico possível com auxílio dos manuais especializados.

## 5.5 Análise dos dados

### 5.5.1 Índices Ecológicos dos Estudos das Comunidades Bióticas

A partir dos dados obtidos da composição e densidade das comunidades bentônica, foram calculados alguns índices ecológicos, tais como:

i. Riqueza (S):

A riqueza é baseada no número total de espécies presentes (ODUM, 1983). Assim sendo, a riqueza foi calculada fazendo o somatório do número de táxons presentes em cada ponto de coleta.

ii. Índice de Diversidade ( $H'$ ) (bits/ind):

A diversidade de espécies, que considera tanto o número de espécies quanto a abundância das espécies, pode ser medida por vários índices. Foi utilizado o índice de diversidade de Shannon-Wiener (MAGURRAN, 2004):

$$H' = -\sum (p_i \cdot \log_2 p_i)$$

$$p_i = n_i/N$$

$n_i$  = número total de indivíduos de cada táxon na amostra

$N$  = número total de indivíduos na amostra.

iii. Índice de Equitabilidade ( $J'$ ):

É a medida da similaridade das abundâncias de diferentes espécies em um grupo ou comunidade, indicando se há ou não dominância de uma espécie ou grupo de espécies (MARGALEF, 1983):

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S}$$

$H'$  = diversidade da amostra

$S$  = número de táxons na unidade amostral

iv. Índice de Dominância de Simpson - Dominância (D):

O índice de Simpson mostra “a concentração” de dominância, uma vez que quanto maior o valor, maior a dominância por uma ou poucas espécies (ODUM, 1983).

$$D = \sum \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

## 5.6 Análise Estatística dos Dados

Os parâmetros limnológicos foram submetidos a uma análise multivariada PCA (análise de componentes principais). Graficamente, a PCA pode ser descrita como uma rotação de vários pontos de dados em um espaço multidimensional de forma que o eixo que explica a maior variação é sempre o primeiro eixo da PCA, o segundo eixo, explica a segunda maior parte, e assim sucessivamente. Posteriormente a PCA, as variáveis com maior potencial de explicação para a variância dos dados foram utilizadas para a análise de agrupamento hierárquico (*Cluster Analysis*), que consiste em um agrupamento de amostras pela similaridade, ou seja, divisão de um conjunto em um número finito de classes (VALENTIN, 1995). Para a construção das matrizes de similaridade usou-se a Distância Euclidiana Média como coeficiente de similaridade e a UPGMA agrupamento pela associação média (*Unweighted Pair - Group Method Average*), como método de ligação ou formação de grupos, gerando um dendrograma, que é a representação gráfica da análise.

Para testar o grau de deformação, utilizou-se o coeficiente de correlação cofenético (CCC), esse coeficiente nada mais é do que a associação entre os objetos reconstituídos a partir do dendrograma. Os valores de C.C.C. maiores do que 0,8 indicam que o dendrograma fornece representação razoável da matriz de parença original (BINI, 2004).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Análise física, química e biológica da água.

A Resolução CONAMA 357 de 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água em doce, salobra e salina, bem como estabelece valores orientadores dos parâmetros físicos e químicos de acordo com seus usos preponderantes. O enquadramento de um corpo hídrico é definido pelos usos preponderantes mais restritivos da água, sejam eles atuais ou que se almejam futuramente, como ilustrado na Figura 9. Caso o corpo de água não seja enquadrado até o presente momento, é considerado pertencente à classe 2 (BRASIL, 2005).

**Figura 9** - Classes de Enquadramento dos Corpos d'água.



Fonte: Adaptado (SERGIPE, 2014).

Ressalta-se que os corpos hídricos da área em estudo ainda não foram submetidos ao processo de enquadramento, e segundo a Resolução CONAMA 357/2005 quando não aprovado os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas Classe 2 e as salobras Classe 1. Dessa forma, as análises a seguir consideram que os mesmos devem atender aos requisitos de qualidade de água doce de Classe 2 para os pontos de coleta (P5, P6, P7 e P8) e visto que, os valores de salinidade foram elevados na região da cabeceira nos pontos P1, P2, P3 e P4, foi utilizado o padrão da Classe 1, água salobra.

Até a presente data não foi concluída a análise dos parâmetros (enxofre, fósforo, íon sulfato, íon amônio, íon cloreto, cálcio, ferro, magnésio, manganês, alumínio e bário) durante o período da seca, deste modo, serão analisados somente os dados do período chuvoso.

### 6.1.1 Salinidade

A salinidade é a concentração de sais minerais dissolvidos na água, que corresponde ao peso, em gramas, dos sais presentes em 1000g de água. Os principais íons responsáveis pela formação de sais em águas interiores destacam-se os ânions: bicarbonato, cloreto e sulfato, e os cátions: cálcio, magnésio, sódio, potássio (ESTEVES, 2011). A resolução CONAMA 357 de 2005 adota as seguintes definições quanto à salinidade para os corpos d'água:

- Águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5;
- Águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 e inferior a 30;
- Águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30.

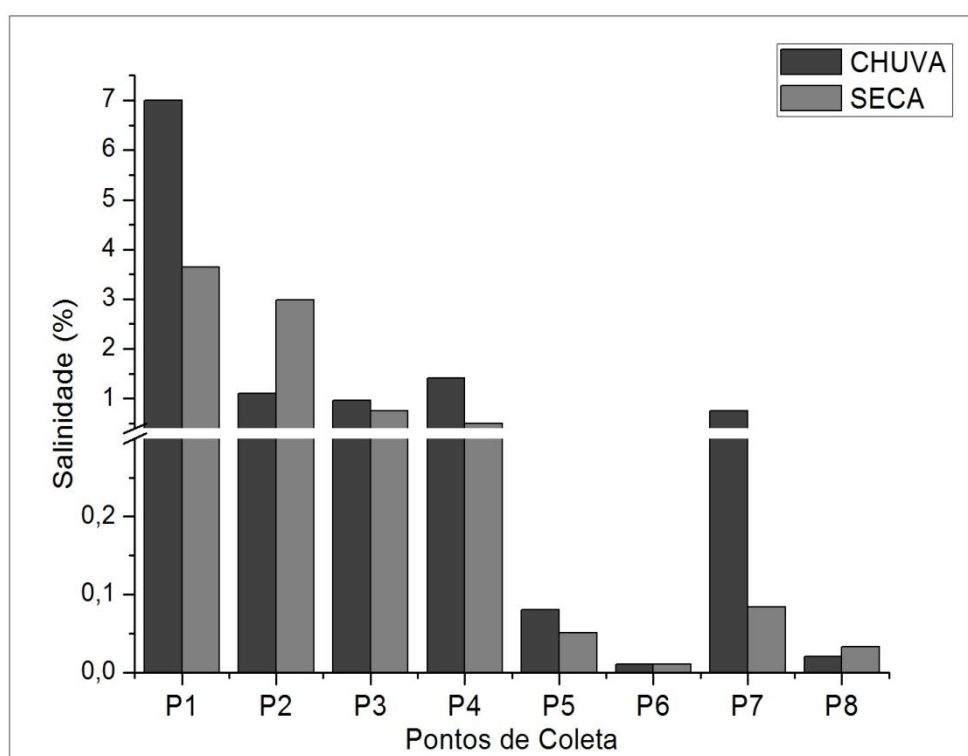
Os pontos de coleta localizados na cabeceira da bacia do rio Sergipe (P1, P2 e P3) estão inseridos no polígono da seca apresentando irregularidade de chuvas. Nessas regiões predomina o clima semiárido caracterizado pelos extensos períodos de estiagem e poucas precipitações, por ter menos chuva disponível os sais não conseguem ser transportados para longe e as altas taxas de evaporação verificadas no clima semiárido fazem com que os sais fiquem concentrados nos solos e nas águas superficiais. Esteves (1998) salienta que nas regiões áridas e semiáridas onde não exista influência marinha, os íons que contribuem para a salinidade da água são: nitratos, sulfatos, bicarbonatos, cloretos, potássio e sódio.

Os íons mencionados anteriormente (cálcio, magnésio, sulfato, cloreto) estão presentes em maior quantidade nos pontos de coleta P1, P2, P3, P4 o que evidencia de fato a elevada salinidade nestes pontos e a classificação dos mesmos como salobros (P1, P2, P3, P4).

O ponto de coleta P1 está inserido no município de Carira e, de acordo com Araújo et al. (2009), em virtude dos solos litólicos existentes, verifica-se uma maior precipitação e concentração de sais (cálcio, magnésio, cloretos, sulfatos) no terreno e devido ao intemperismo físico-químico a água acaba adquirindo certo teor de salinidade, a influência das características do solo da região justifica o porque deste ponto ter a maior salinidade. Um estudo realizado por Barreto (2009) no açude de Carira, de acordo com os valores dos parâmetros que estão relacionados diretamente com a salinidade da água do açude (Sódio, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais, dentre outros) e com relação à Resolução CONAMA 357/05, a água do açude foi classificada como salobra, inviabilizando o consumo humano.

No período chuvoso, conforme Figura 10, a salinidade foi mais elevada nos pontos localizados na região de cabeceira, tendo sido registrados nos pontos P1, P2, P3 e P4 os valores de 3,64, 2,98, 0,75 e 0,505, respectivamente. Já nos demais pontos de coletas foram verificados os valores mais baixos do sistema, variando entre os valores de 0,084 a 0,01. No período seco o valor da salinidade aumentou devido a maior concentração de sais, efeito da baixa precipitação, os maiores teores de salinidade foram registrados nos pontos P1, P2, P3 e P4 com valores de 7,00, 1,10, 0,97 e 1,41 respectivamente. Já nos demais pontos de coletas os valores foram mais baixos, variando entre 0,08 a 0,01, como pode ser observado na Figura 10.

**Figura 10** - Valores de salinidade registrados *in situ* nos pontos de coletas do rio Sergipe durante o período chuvoso (agosto/2017) e seco (março/2018).



Fonte: Autor (2018).

### 6.1.2 Oxigênio Dissolvido – OD

O oxigênio dissolvido é considerado uma das variáveis ambientais de maior importância na caracterização e dinâmica dos ecossistemas aquáticos, ele é influenciado por diversas modificações sazonais do fluxo de água, da precipitação e da temperatura (RODGHER et al., 2005). A sua determinação é de fundamental importância, já que, é extremamente necessário para a respiração da maioria dos organismos que vivem no ambiente aquático, também ajuda a avaliar a qualidade da água e a descobrir impactos ambientais. A

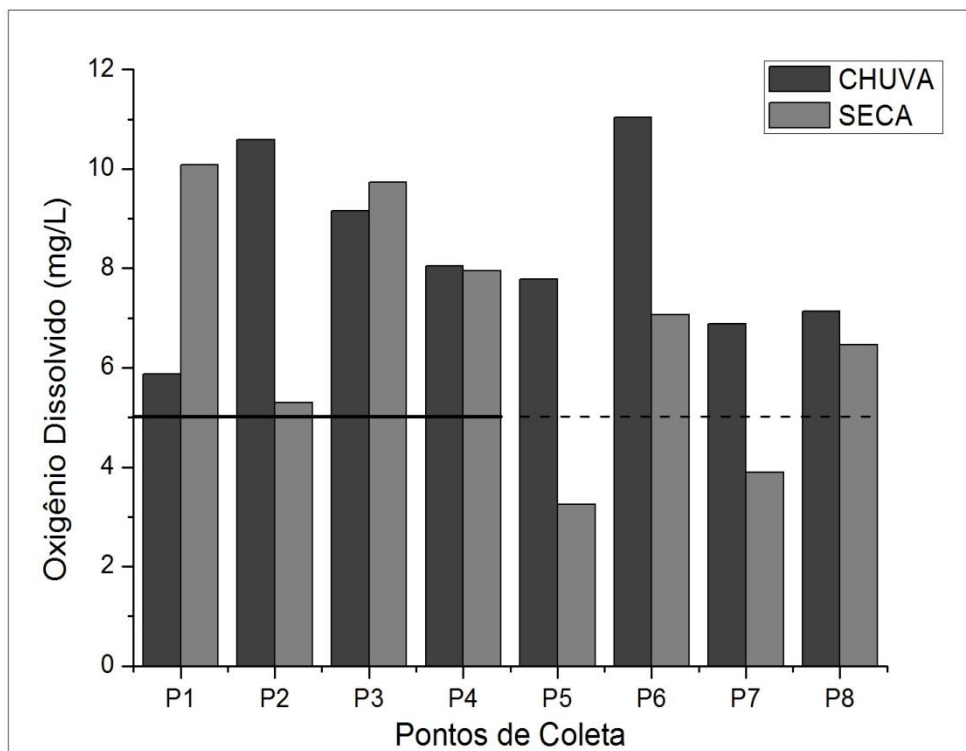
redução da pressão atmosférica e o aumento da temperatura na água aumentam o estado de agitação das moléculas, colaborando para que a liberação delas do líquido seja mais fácil, essas alterações contribuem para a redução da solubilidade do oxigênio na água. Outro fator que também reduz ou desaparece a quantidade de oxigênio dissolvido da água é quando a água recebe grandes quantidades de substâncias orgânicas biodegradáveis, visto que, os resíduos orgânicos sofrem decomposição pelos microorganismos que na respiração usam o oxigênio (GUIMARÃES; RODRIGUES, 2012).

Os maiores valores das concentrações de oxigênio foram registrados durante o período chuvoso (agosto, 2017). O ponto P6 apresentou a maior concentração de OD, ele fica situado no Parque Nacional da Serra de Itabaiana, por ser uma Área de Preservação Ambiental, com reduzida interferência antrópica.

No período de seca, de acordo com a Figura 11, verificou-se que os pontos P5 e P7 apresentaram valores abaixo do limite estipulado pela resolução CONAMA 357 de 2005 para água doce classe 2 e água salobra classe 1 (até 5 mg/L), 3,25 mg/L e 3,9 mg/L, respectivamente. Provavelmente estes valores estão relacionados ao intenso aporte de matéria orgânica devido ao lançamento de efluentes domésticos no ponto P7. A redução de oxigênio dissolvido nos corpos hídricos ocorre geralmente em função da elevada carga orgânica (fósforo e nitrogênio) existente nos despejos de efluentes orgânicos, funcionando assim, como um indicador de poluição por matéria orgânica. (TOMAZ, 2008; OLIVEIRA; HENKES, 2013).

No período chuvoso todos os pontos de coleta encontram-se com valores acima dos limites da CONAMA 357/2005, conforme verificado na Figura 11, mesmo com a influência do lançamento de efluentes no ponto P7. A possível justificativa pode ser atribuída ao aumento nas precipitações pluviométricas resultando em maior oxigenação provocada pela turbulência da água. Segundo Krupek et al. (2008), a velocidade da correnteza é um fator que influencia fortemente os níveis de oxigênio dissolvido na água, pois com altas velocidades aumenta-se a turbulência que, por consequência, aumenta a solubilidade do gás tornando-o mais disponível.

**Figura 11** - Oxigênio dissolvido (OD) registrado *in situ* no período chuvoso (agosto/2017) e seco (março/2017). Em destaque a linha contínua significa o valor mínimo aceitável de OD para rios de classe 1 (salobra) (5 mg/L) e a linha tracejada indica também o limite mínimo de OD para rios de classe 2 (doce) (5 mg/L) segundo a resolução CONAMA 357/05.



Fonte: Autor (2018).

### 6.1.3 pH

O potencial hidrogeniônico - pH é definido como a atividade ou concentração, dos íons de hidrogênio, ou de hidroxila (OH) em um certo material. Baseado no valor da medida de pH pode-se atribuir aos materiais caracteres ácido (valores de pH 0,00 a 7,00), alcalino (valores de pH 7,00 a 14,00) e também caráter neutro (pH igual a 7,00).

Por influenciar em processos unitários de tratamento de águas e vários equilíbrios químicos que acontecem de forma natural, o pH é um parâmetro de grande importância em diversos estudos voltados para o saneamento ambiental. O pH influencia os ecossistemas aquáticos naturais devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies, também tem efeito indireto onde, determinadas condições de pH podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes; outras condições podem contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados (GOMES et al.,2007). Von Sperling (2005)

ainda acrescenta que os valores de pH estão relacionados também a fatores naturais, como exemplo, a oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, dissolução de rochas, absorção de gases atmosféricos, e a fatores antrópicos como exemplo, o despejo de efluentes industriais e domésticos.

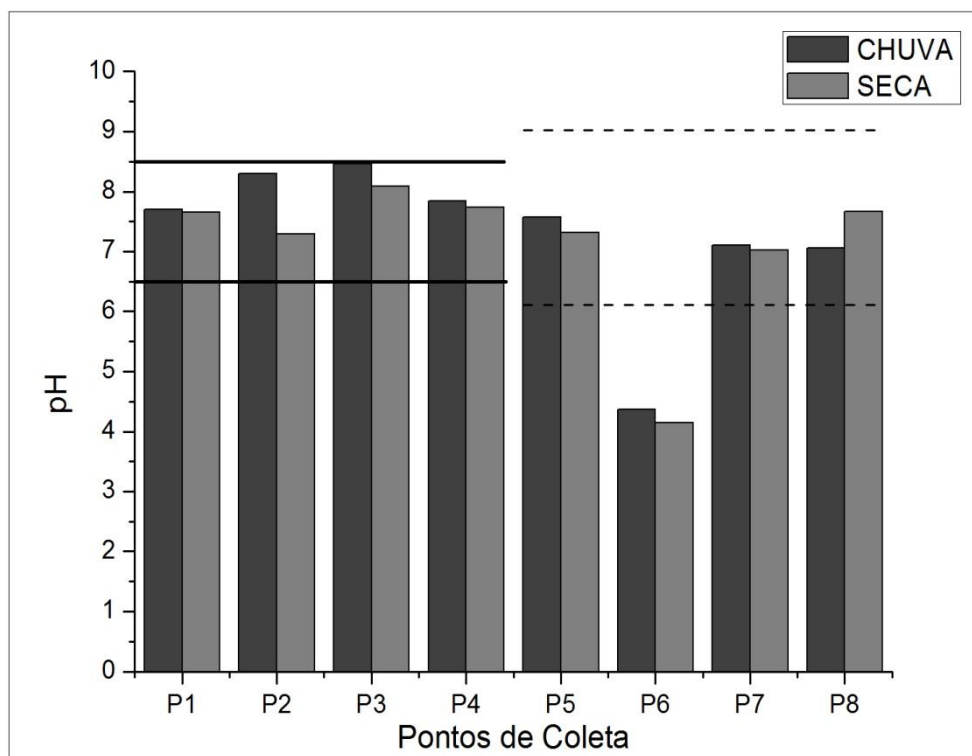
Nos dois períodos (chuvoso e seco), verificou-se que o ponto P6 foi o único com pH ácido (abaixo de 7,0), apresentando valores de 4,37 (chuva) e 4,15 (seca), conforme Figura 12. Segundo Jacomine et al. (1975) o solo da região é do tipo Aren quartzoso Profundo (Não Hidromórfico) que compreende solos arenosos considerados extremamente ácidos, o que justifica seu pH ácido.

Não foram observadas grandes variações entre o período de chuva e seca, sendo verificado que o restante dos pontos de coleta nos dois períodos apresentou características de águas alcalinas (maior que 7,0), com valores entre 7,02 a 8,09 (seca) e 7,06 a 8,46 (chuva) e encontram-se dentro dos limites estipulados pela Resolução CONAMA 357 para rios de classe 2 (doce) ( $6,0 < \text{pH} < 9,0$ ) e de classe 1 (salobra) ( $6,5 < \text{pH} < 8,5$ ), como observado na Figura 12.

No período da chuva foram verificados valores maiores para o pH, segundo Silva (2008), com a presença das chuvas aumenta o escoamento superficial e observa-se uma maior diluição dos compostos dissolvidos, fazendo com que o pH aumente. Sé (1993) afirma que em locais que dispõe de fatores como as atividades antrópicas, à ação da erosão e a turbulência aumentada pelas precipitações, podem interferir no decréscimo de gás carbônico dissolvido o que conseqüentemente acaba provocando uma tendência de aumento do pH nesses trechos.



**Figura 12** - Valores de pH registrados *in situ* no período chuvoso (agosto/2017) e seco (março/2017). Em destaque a linha contínua refere-se ao valor aceitável de pH para rios de classe 1 (salobra) ( $6,5 < \text{pH} < 8,5$ ) e a linha tracejada representa o valor aceitável de pH ( $6,0 < \text{pH} < 9,0$ ) para rios de classe 2 (doce) segundo a resolução CONAMA 357/05.



Fonte: Autor (2018).

#### 6.1.4 Condutividade Elétrica – CE

A capacidade de uma água conseguir conduzir a corrente elétrica é a propriedade e expressão numérica denominada condutividade. Ela dá indicação da quantidade de sais que existem na coluna d'água, depende da temperatura, das concentrações iônicas e da temperatura, representa desta forma, uma medida indireta da concentração de poluentes. Geralmente um ambiente é considerado impactado se encontra valores superiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e esses altos valores podem indicar características corrosivas da água. Com a adição de mais sólidos dissolvidos à condutividade da água aumenta (CETESB, 2016).

A condutividade elétrica tem uma associação direta com a concentração de íons dissolvidos na água, eles possuem a capacidade de conduzir a corrente elétrica. Os íons encontrados em águas continentais são responsáveis pelos valores de condutividade elétrica são: sódio, sulfatos, magnésio, cloretos, cálcio, carbonatos, potássio dentre outros

(CAMPAGNA, 2005). Essa propriedade varia com a temperatura, com as concentrações real e relativa de cada íon, com a mobilidade dos íons, concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas na água e com a valência dos íons (PINTO, 2007).

A condutividade elétrica da água é considerada uma das variáveis de maior importância na Limnologia, pelo fato de proporcionar informações importantes a respeito do metabolismo do ecossistema aquático e sobre fenômenos importantes que aconteçam na sua bacia de drenagem (ESTEVES, 2011).

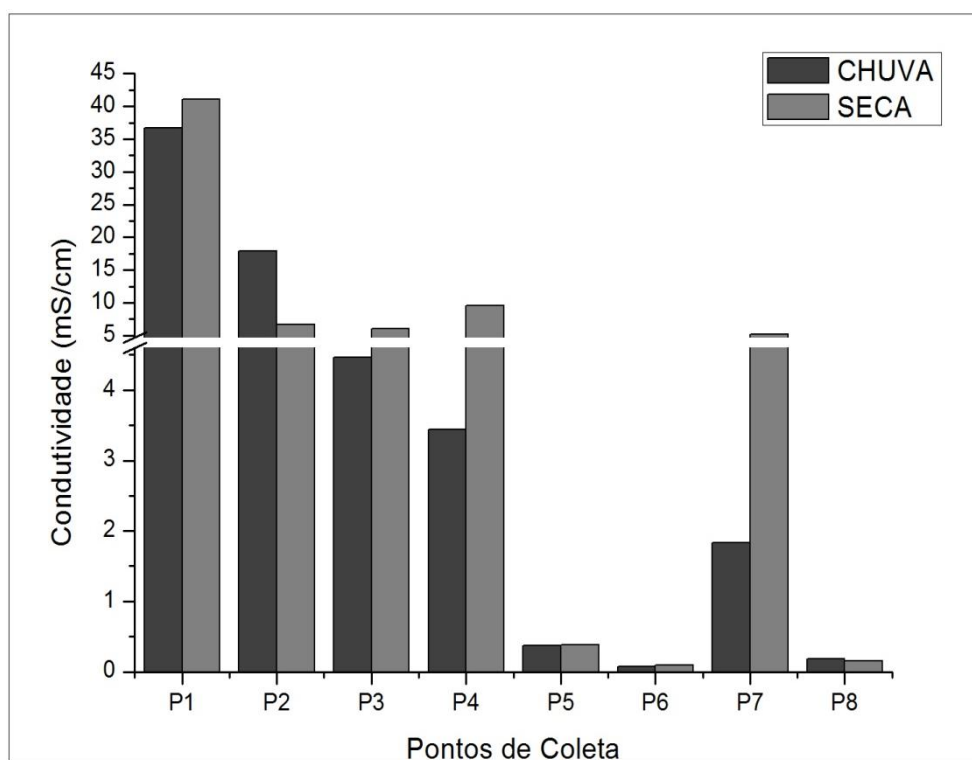
Ao analisar este parâmetro, no período chuvoso, o ponto P1 apresentou a maior concentração de CE com 36,7 mS/cm, esse valor elevado é resultado da maior concentração de sais no local, já que o ponto P1 apresentou os maiores valores de cloreto (12410 mg/L) e sulfato (1182, 92 mg/L) e segundo Wetzel (1983) em águas continentais, esses dois íons são diretamente responsáveis pela condutividade elétrica. Os pontos P2 e P3 também apresentaram valores elevados de condutividade elétrica com 17,95 mS/cm e 4,46 mS/cm respectivamente. Estes pontos também apresentaram elevadas concentrações dos íons cloreto e sulfato. Além disso, os solos desses pontos são ricos em íons de cálcio e magnésio que também são responsáveis pelos valores de condutividade. Por outro lado, o ponto de coleta com menor condutividade elétrica foi o P6 com 0,0746 mS/cm, os valores dos íons cloreto e sulfato neste ponto foram muito baixos. O tipo de solo da região é areia quartzosa, e segundo Spera (1999) esse solo é pobre em nutrientes teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio, o que pode ter influenciado também na condutividade da água do rio.

Já no período de seca, o ponto com maior condutividade elétrica neste período também foi o ponto P1 com 41,10 mS/cm e o ponto de coleta com menor condutividade elétrica foi o ponto P6 com 0,9753 mS/cm, esses valores possivelmente estão ligados às características geológicas aliadas às concentrações dos íons cloreto, sulfato, cálcio e magnésio. Os demais pontos de coleta em sua maioria apresentaram altos valores de condutividade elétrica, excetuando-se os pontos P5, P6 e P8. No período de seca esses valores permaneceram ligeiramente maiores. Segundo Esteves (2011), a condutividade elétrica é uma variável que se modifica com a sazonalidade, sendo que no período chuvoso, em virtude da diluição dos íons no sistema, verifica-se uma menor concentração. Ferraz (2008) também encontrou no rio Canha, no município de Jacupiranga, no estado de São Paulo, maiores valores de condutividade elétrica durante a estação da seca, o mesmo aconteceu com o estudo de Bubel

(1998) que analisou os rios Tietê e Peixe, no estado de São Paulo, encontrando durante a estação com menor intensidade de chuva, maiores valores de condutividade elétrica.

Os valores de condutividade registrados nos pontos de amostragem da bacia do rio Sergipe durante os dois períodos de coleta (chuva e seca) podem ser observados na Figura 13.

**Figura 13** - Condutividade registrada *in situ* no período chuvoso (agosto/2017) e seco (março/2018).



Fonte: Autor (2018).

#### 6.1.5 Material em Suspensão

Encontrado em corpos de água, o material em suspensão é o material particulado formado por substâncias orgânicas e inorgânicas (areia, silte, argila), integrando também os organismos planctônicos (zooplâncton e fitoplâncton). Influencia principalmente na minimização da transparência da água, de forma que impeça a penetração da luz, possibilitando a inibição das atividades fotossintéticas das plantas aquáticas. Alguns fenômenos como os processos de assoreamento e o bloqueio total de rios ou lagos devido ao alto conteúdo de material em suspensão trazem o desaparecimento completo de algumas formas de vida do ambiente aquático e o desequilíbrio entre espécies (FAY; SILVA, 2006).

No período de chuva (Figura 14), os pontos de coleta que registraram valores maiores de material em suspensão orgânico (MSO) foram os pontos P1 e P2, correspondendo a 46,4 mg/L e 19,2 mg/L, respectivamente, tais valores estão associados à elevada produção primária observada neste trecho, águas com características lânticas e eutrofizadas. Já o menor valor foi no ponto P6, provavelmente associado ao tipo de solo da região que apresenta baixos teores de matéria orgânica.

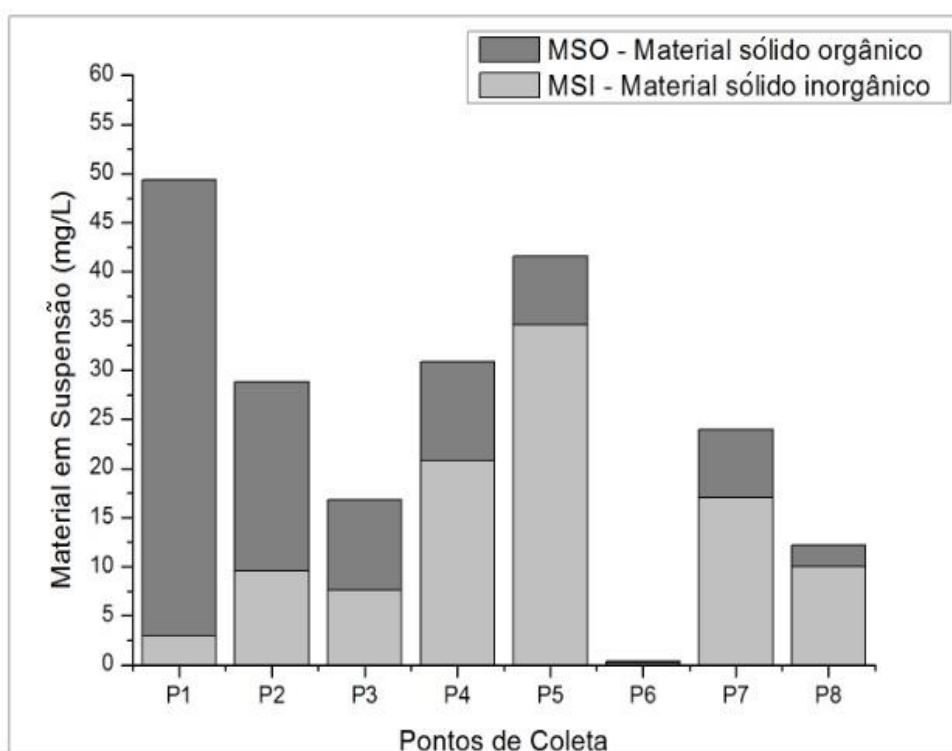
Os valores de material em suspensão inorgânico (MSI) para o período de chuva sofreram grandes variações entre os pontos de coleta, os pontos P4 e P5 apresentaram as maiores concentrações com 20,8 mg/L e 34,60 mg/L, respectivamente. Uma das atividades de influência no P5 é a extração de areia que pode ser a possível justificativa para este ponto de coleta ter a maior concentração de material em suspensão inorgânico. Os pontos com menor concentração foram o ponto P1 e P6, correspondendo a 3 mg/L e 0,2 mg/L, respectivamente, o solo da região no período chuvoso do ponto P6 possui em sua composição granulométrica apenas 4,2% de areia fina e areia muito fina, sem contar que a área deste ponto de coleta é preservada com mata ciliar nas margens do rio o que dificulta mais ainda o carreamento de sedimentos para dentro do curso do rio.

No período de seca (Figura 15), os pontos de coleta que registraram valores maiores de material em suspensão orgânico (MSO) foram os pontos P1 e P7, correspondendo a 34,4 mg/L e 13,2 mg/L respectivamente. A elevada carga orgânica das indústrias de laticínios em funcionamento na área do ponto P1 acarreta o aumento na taxa de material em suspensão orgânico, já a concentração de material em suspensão orgânica do ponto P7 está associada à matéria orgânica proveniente do esgoto doméstico que é lançado nesta área. O ponto de menor valor foi o ponto P6, assim como verificado no período chuvoso.

Os valores de MSI para o período de seca em alguns pontos de coleta aumentaram muito em comparação ao período chuvoso, os pontos P1, P5 e P7 apresentaram as maiores concentrações com 31,80 mg/L, 31,80 mg/L e 36,20 mg/L, respectivamente. Segundo a Ana (2011) nos rios em período de seca ocorre a deposição dos sedimentos finos e no período chuvoso esses sedimentos são carreados pela chuva, o que pode ser a justificativa para uma maior concentração dos materiais inorgânicos (silte e areia) no período da seca. O ponto P7 apresentou a maior concentração de MSI, este ponto apresentou na análise granulométrica 69% de silte e areia fina, contando com apenas 0,6% de cascalho, o que conclui que nesta região a composição de material em suspensão inorgânica é realmente elevada. O ponto P5

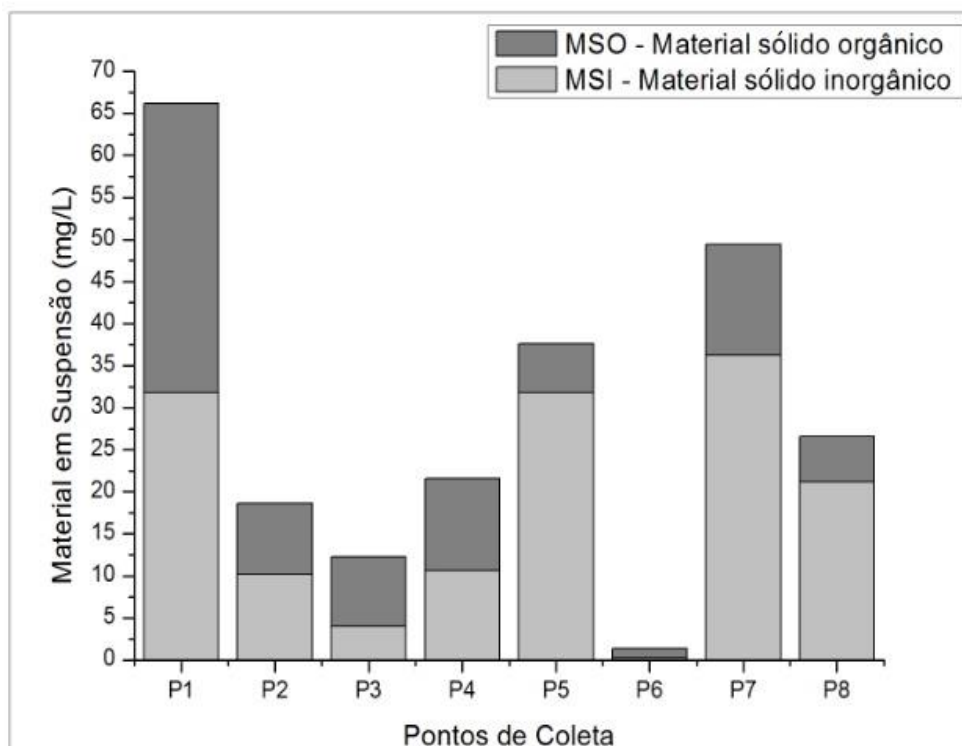
sofre influência da extração de areia no local que acaba aumentando a concentração de partículas em suspensão inorgânicos no curso d'água, podendo ser a possível justificativa para este ponto de coleta ter a segunda maior concentração de material em suspensão inorgânico. O ponto de menor concentração foi o ponto P6, correspondendo a 0,2mg/L, o sedimento da região no período seco do ponto P6 possui em sua composição granulométrica apenas 11% de silte (grosso e muito grosso) e areia (fina e muito fina), sem contar que a área deste ponto de coleta é preservada com mata ciliar nas margens do rio o que dificulta mais ainda o carreamento de sedimentos para dentro do curso do rio.

**Figura 14** - Variação da concentração de material em suspensão orgânico (MSO) e inorgânico (MSI) durante o período chuvoso.



Fonte: Autor (2018).

**Figura 15** - Variação da concentração de material em suspensão orgânico (MSO) e inorgânico (MSI) durante o período seco.



Fonte: Autor (2018).

#### 6.1.6 Íon Amônio

A amônia é tóxica, não cumulativa, não persistente, de concentração geralmente baixa, bastante restritiva à vida dos peixes sendo que muitas espécies não suportam concentrações acima de 5 mg/L, podendo causar sufocamento dos mesmos.. A concentração de nitrogênio amoniacal é um importante parâmetro de classificação das águas naturais e é normalmente empregado na constituição de índices de qualidade das águas (FAY; SILVA, 2006; CETESB, 2016).

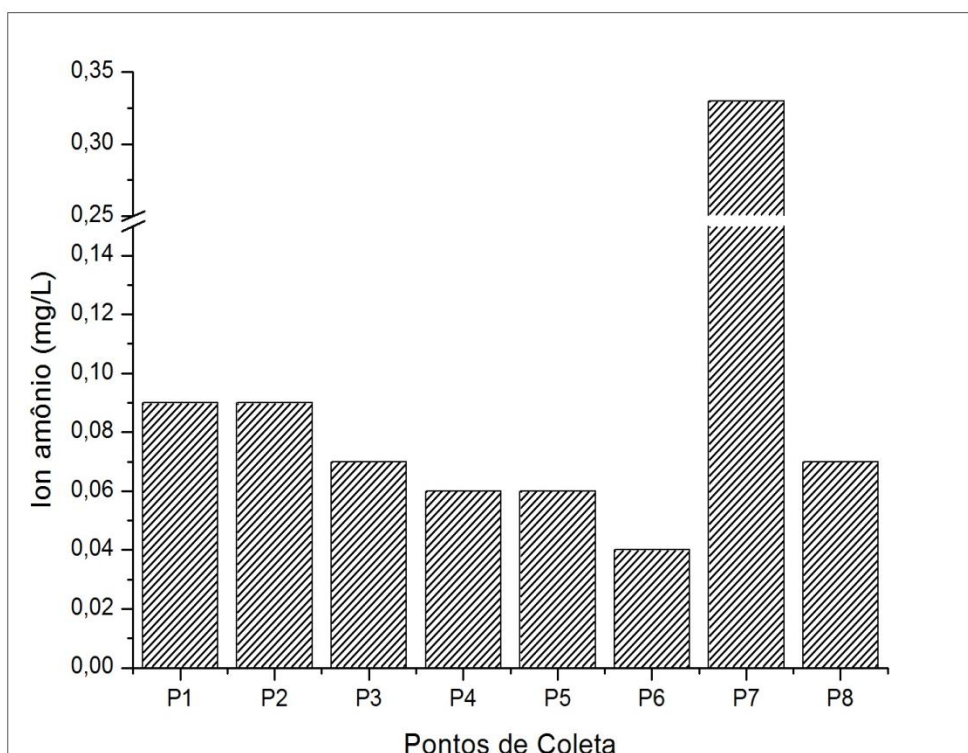
A amônia causa alguns impactos ecológicos na população de invertebrados bentônicos, nas comunidades aquáticas e em peixes, como, por exemplo, alterações bioquímicas e fisiológicas, mudanças patológicas nos tecidos dos rins, brânquias e fígados dos peixes, mudanças no comportamento, toxicidade crônica com efeitos sobre a capacidade reprodutiva (produção de ovos e sobrevivência larval), o crescimento (comprimento e peso). Em ambientes aquáticos, a amônia apresenta-se na forma iônica amônio  $[NH_4^+]$  e na forma molecular amônia  $[NH_3]$ , podendo ser conhecida também como amônia não ionizada

(SILVA; JARDIM, 2006). Esteves (1998) salientou que a presença de amônia em um corpo hídrico está ligada a poluição recente por esgotos domésticos.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/05, os corpos de água salobras continentais, onde a salinidade não seja por influência direta marinha, os valores para o nitrogênio e fósforo seguirão os estabelecidos nas classes apropriadas de água doce. Deste modo, todos os pontos P1, P2, P3 e P4 considerados de água salobra deverão ser comparados as águas doces classe 1.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/05, os limites para o nitrogênio amoniacal total para rios de águas doce classe 1 variam entre 0,5 mg/L a 3,7 mg/L, estes valores são definidos de acordo com o pH de cada ponto de coleta. Todos os pontos encontram-se abaixo deste limite estabelecido pela resolução, conforme observado na Figura 16, apresentando baixos teores de íon amônio com concentrações de P1 e P2 (0,09 mg/L), P3 e P8 (0,07 mg/L), P4 e P5 (0,06 mg/L) e o ponto P6 com menor concentração (0,04 mg/L). O ponto P7 foi o que apresentou maior concentração de íon amônio (0,33 mg/L), provavelmente devido ao lançamento de esgoto doméstico nas proximidades do ponto analisado.

**Figura 16** - Concentração de íon amônio registrada no período chuvoso (agosto/2017).



Fonte: Autor (2018).

### 6.1.7 *Fósforo total*

O aparecimento de fósforo nas águas dos rios pode surgir diretamente da natureza, decorrente da dissolução de compostos do solo (em pequena escala) ou devido à ação antrópica, proveniente dos despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes. O fósforo presente na água é de fundamental importância para o controle ecológico das algas, e é considerado um nutriente para processos biológicos, porém, elevadas concentrações podem colaborar assim como o nitrogênio, para a aceleração indesejável do processo de eutrofização que decorre da elevada propagação de algas (FAY; SILVA, 2006).

Como dito, o fósforo surge em águas naturais mediante as descargas de esgotos sanitários, os detergentes em pó utilizados em larga escala e a matéria orgânica fecal formam a principal fonte. O fósforo também é encontrado em quantidades excessivas em alguns efluentes industriais, como exemplo, os de frigoríficos, abatedouros, conservas alimentícias, indústrias de fertilizantes, químicas em geral, laticínios e pesticidas. Outras fontes que podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais são as águas drenadas em áreas urbanas e agrícolas (CETESB, 2016).

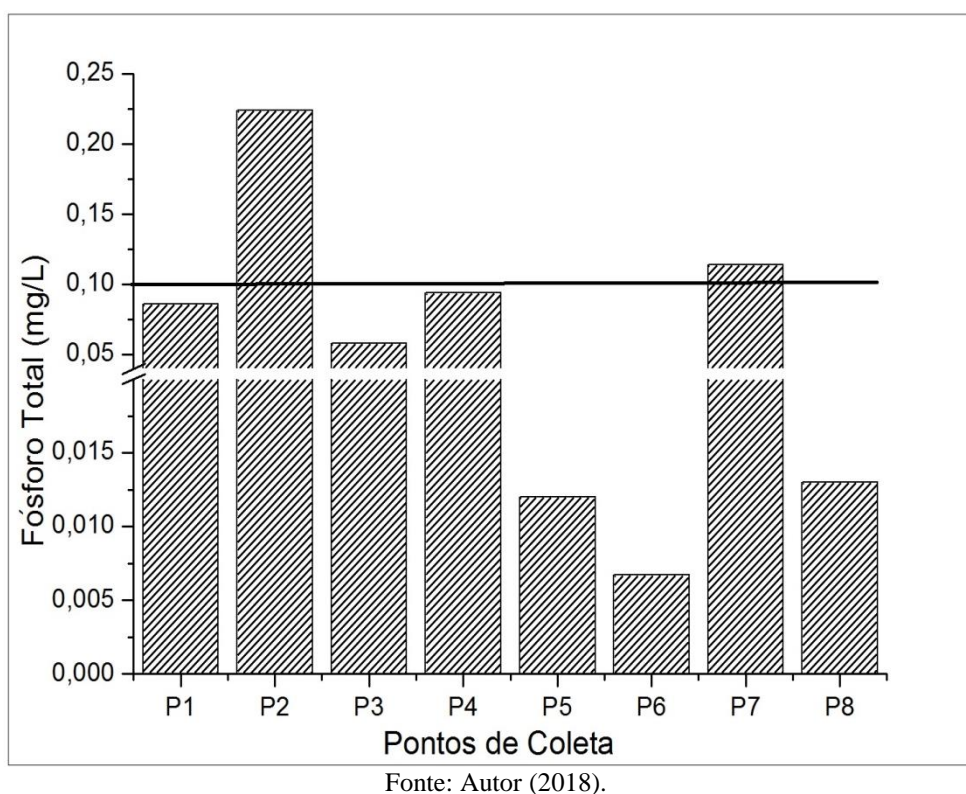
De acordo com a Resolução CONAMA 357/05 os corpos de água salobras continentais, onde a salinidade não seja por influência direta marinha, os valores para o nitrogênio e fósforo seguirão os estabelecidos nas classes apropriadas de água doce. Deste modo, todos os valores obtidos deverão ser comparados as águas doces classe 1.

As maiores concentrações de fósforo total ocorreram nos pontos de coleta P2 (0,224 mg/L) e P7 (0,114 mg/L), conforme ilustrado na Figura 17, cujos valores encontram-se acima do limite permitido pela resolução CONAMA 357/05 para rios de classe 1 e 2 (0,1 mg/L). Os restantes dos pontos de coleta estiveram abaixo do limite tolerado pela CONAMA. O ponto P2 existe uma intensa influência da pecuária bovina nas proximidades, o que provavelmente pode estar relacionando o valor acima do limite de fósforo no corpo hídrico aos excrementos dos animais. Já o ponto P7 apresentou concentração acima do limite e pode-se observar que neste trecho o rio Sergipe vêm sendo afetado pelas atividades antrópicas apresentando forte influência da área urbana, com o lançamento de esgoto doméstico sem tratamento prévio e lavagem de animais (cavalos). Segundo a Cetesb (2016) às descargas de esgotos sanitários, os detergentes em pó utilizados em larga escala e a matéria orgânica fecal formam a principal



fonte de fósforo em águas naturais. No estudo de Franco et al. (2012) o córrego Três Pontes localizado na cidade de Amparo, no estado de São Paulo apresentou as concentrações mais elevadas de fósforo e nitrogênio total nos locais com despejos de esgoto doméstico, o mesmo que ocorreu no presente estudo.

**Figura 17** - Fósforo Total registrado no período chuvoso (agosto/2017). Em destaque a linha contínua refere-se ao valor máximo aceitável de fósforo para rios de classe 1 e 2 (doce) (0,10 mg/L) de acordo a resolução CONAMA 357/05.



#### 6.1.8 Íon Cloreto – $Cl^-$

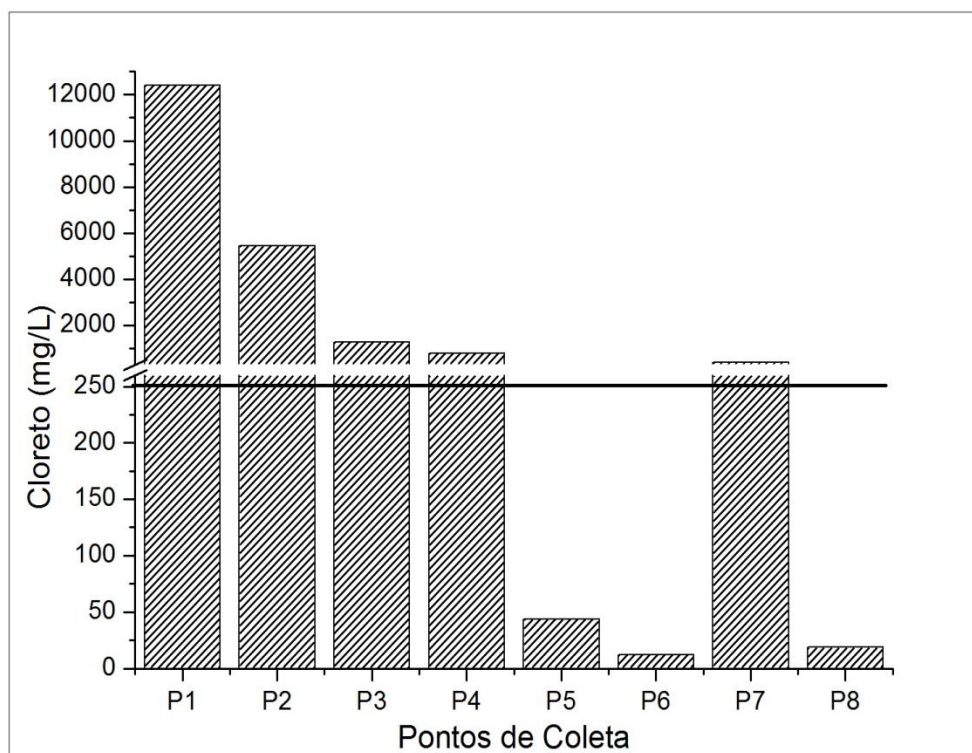
Proveniente da percolação da água através de rochas e solos, o cloreto (ânion  $Cl^-$ ) se apresenta nas águas subterrâneas, nas águas superficiais as principais fontes de cloreto são as descargas de esgotos sanitários, onde cerca de 4 g de cloreto é expelido na urina representando aproximadamente 90% a 95% dos excretos humanos, o restante é excretado pelas fezes e pelo suor. Algumas indústrias farmacêuticas, curtumes e indústrias de petróleo têm em seus efluentes elevadas concentrações de cloreto, ele já foi utilizado como indicador de contaminação por esgotos sanitários, e seu elevado nível podendo ser associado a um rio com lançamento de esgotos sanitários. Segundo a Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde o

valor máximo de cloreto na água potável como padrão de aceitação de consumo é 250 mg/L. (CETESB, 2016).

O cloreto é um íon que faz parte de processos fisiológicos importantes, como, por exemplo, a troca e o transporte de outros íons para os meios extracelular e intracelular, ele também tem grande importância na produtividade global dos ecossistemas aquáticos (PIRATOBA et al., 2017).

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, o limite permitido para rios de água doce classe 2 para cloreto é de 250 mg/L, no período de chuva somente os pontos P5, P6 e P8 encontraram-se dentro do limite, com concentrações de 43,84 mg/L, 12,23 mg/L e 18,67 mg/L, respectivamente, conforme mostra Figura 18. Os demais pontos de coleta (P1, P2, P3, P4 e P7) no período de chuva apresentaram concentrações de cloreto acima do limite admitido, o ponto com maior concentração de cloreto foi o ponto P1. Infere-se, portanto, que os valores de maior concentração são decorrentes da elevada salinidade nos trechos de cabeceira do rio e também da influência da característica do local.

**Figura 18** - Concentração de Cloreto registrada no período chuvoso (agosto/2017). Em destaque a linha contínua sinaliza o valor máximo aceitável para rios de classe 2 (doce) (250 mg/L) segundo a resolução CONAMA 357/05.



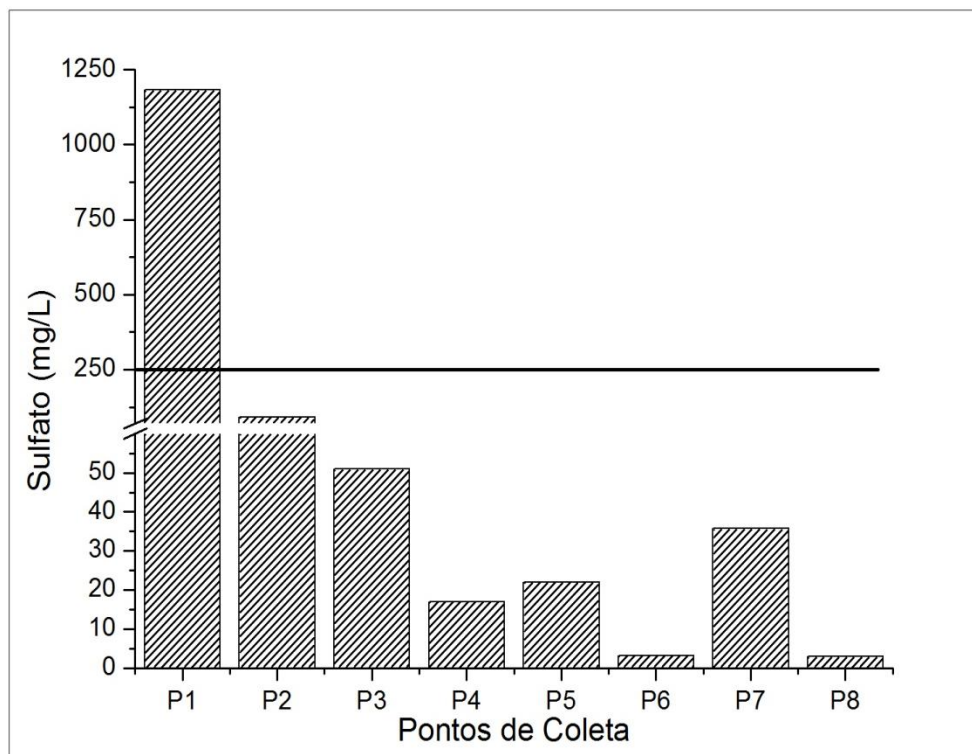
Fonte: Autor (2018).

#### 6.1.9 Íon Sulfato - $SO_4^{2-}$

O sulfato é tido como um dos íons mais abundantes na natureza, sua fonte em águas naturais ocorre por meio da oxidação do sulfeto e pela dissolução de rochas e solos. A principal fonte de sulfato nas águas tratadas é resultante do uso de coagulantes, devendo, portanto ter um controle na dosagem, pois sua ingestão provoca efeito laxativo. Nas águas superficiais as descargas de efluentes industriais e esgotos domésticos são considerados as principais fontes antrópicas de sulfato. Em se tratando de abastecimento industrial, o sulfato pode causar incrustações nos trocadores de calor e nas caldeiras, já na rede de esgoto nos trechos com baixa declividade e depósito de matéria orgânica pode ocorrer a transformação do sulfato em sulfeto, exalando o gás sulfídrico, que traz problemas de corrosão em coletores de esgoto de concreto, além de ter um odor desagradável e ser tóxico (CETESB, 2016).

Os valores encontrados para sulfato no período chuvoso, na maioria dos pontos de coleta, encontram-se dentro do limite permitido pelo CONAMA 357/2005 para rios de água doce classe 2 (250 mg/L), conforme mostra Figura 19. O único ponto que ultrapassou os limites do CONAMA foi o ponto P1, com 1182 mg/L, o que pode ser justificado devido à elevada salinidade nos trechos de cabeceira do rio e também a influência da característica do local.

**Figura 19** - Concentração de Sulfato registrada no período chuvoso (agosto/2017). Em destaque a linha contínua sinaliza o valor máximo aceitável para rios de classe 2 (doce) (250 mg/L) segundo a resolução CONAMA 357/05.



Fonte: Autor (2018).

#### 6.1.10 Metais

Os metais são classificados na lista de contaminantes como poluentes prioritários nos sedimentos de ecossistemas de água doce (ALEGRE, 2009). Alguns metais regulam os processos bioquímicos e são muito importantes para a manutenção de processos fisiológicos dos organismos e dos tecidos vivos, por exemplo, zinco, cobre e manganês, os quais são fundamentais nos processos fisiológicos de regulação. Entretanto, em grandes concentrações, eles podem ser tóxicos ao homem e aos organismos. Atualmente, a poluição por metais vem atingindo muitos ecossistemas aquáticos em todo o Planeta causando graves problemas de saúde pública e ecológicos em especial após sua bioacumulação na cadeia alimentar. (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

A contaminação dos corpos hídricos com metais está aumentando ligeiramente e diversos estudos abordam formas de remoção desses metais utilizando técnicas inovadoras e ecológicas (LIMA, 2018; AGUIAR et al., 2002; MELQUIADES; 2014).

No presente estudo, foram avaliados as concentrações dos metais cálcio, ferro, magnésio e alumínio ao longo da bacia do rio Sergipe. A Tabela 2 lista esses metais e suas concentrações em cada ponto de coleta, no período de chuva.

**Tabela 2** - Caracterização da água da bacia do rio Sergipe por meio de análise de metais. Destaque (em negrito) para os pontos onde as concentrações estão acima do limite máximo estabelecido pela resolução CONAMA 357/05.

METAIS →	Ca	Fe	Mg	Mn	Al	Ba
<b>P1</b>	288	<b>0,63</b>	343	0,046	<b>0,83</b>	0,1
<b>P2</b>	115	<b>0,43</b>	154	0,0018	<LD	0,069
<b>P3</b>	43,9	<b>0,39</b>	49	0,0091	<LD	0,054
<b>P4</b>	41,1	<b>0,85</b>	55,2	0,064	<LD	0,064
<b>P5</b>	8,74	<b>0,89</b>	3,05	0,013	<LD	0,027
<b>P6</b>	2,38	0,24	<LD	<LD	<b>0,67</b>	<LD
<b>P7</b>	21,8	<b>1,02</b>	23,4	0,026	<LD	0,042
<b>P8</b>	12,5	<b>0,99</b>	0,65	0,014	<LD	0,017

Concentração em mg/L; LD – limite de detecção.

Analizando as concentrações dos metais descritos acima, no geral, verificou-se uma tendência a maiores concentrações no ponto P1 na maioria dos metais, durante o período de chuva, e o ponto P6 apresentou as menores concentrações em todos os pontos de coleta.

O cálcio é um elemento essencial para o crescimento de animais especialmente moluscos, e de algas macrófitas aquáticas, é encontrado combinado em duas formas principais: bicarbonato de cálcio e o carbonato. É um cátion bastante importante, tem grande importância, já que sua dinâmica gera influência na ciclagem de outros elementos, como o fosfato, além de influenciar um dos parâmetros físico-químicos principais do meio aquático o pH (ESTEVES, 2011). A dureza da água está relacionada com a presença, sobretudo, de sais de cálcio, magnésio e bicarbonato, podendo contar também com o aporte de íons polivalentes como manganês e ferro. Em matéria orgânica e muitos compostos organometálicos se encontra o magnésio, por se tratar de um elemento essencial para os organismos vivos (LIMA, 2015).

Os pontos de coleta P1 e P2 foram os que apresentaram maiores valores para o cálcio e para o magnésio, com concentrações de 288 mg/L e 115 mg/L, 343 mg/L e 154 mg/L respectivamente. Essas regiões, onde os pontos P1 e P2 estão presentes pertencem ao semiárido do estado e os solos são considerados férteis com elevada saturação por bases de 50 a 85% e são ricos em nutrientes, especialmente Ca.

No período chuvoso, a concentração de ferro na maioria dos pontos de coleta ultrapassou o limite aceito pela CONAMA 357/2005 (0,3 mg/L) para águas doces e salobras, o ponto P7 apresentou a maior concentração de 1,02 mg/L, o único ponto que ficou abaixo do limite foi o ponto P6 com concentração de 0,24 mg/L, isso ocorre porque nosso solo é naturalmente rico em ferro, o que justifica essa concentração elevada.

Com relação ao manganês, não foram encontrados valores acima do limite permitido pela resolução CONAMA 357/05, estabelecido em 0,1 mg/L (água doce classe 2 e salobra classe 1), os valores mínimo e máximo registrados foram 0,0018 mg/L (ponto P2) e 0,064 mg/L (ponto 4). Segundo a Cetesb (2016), normalmente o manganês está presente em águas superficiais com valores de 0,2 mg/L ou até menos, dificilmente alcança concentrações de 1,0 mg/L.

Na maioria dos pontos de coleta não foi possível detectar as concentrações do alumínio, pois os valores ficaram abaixo do limite de detecção, somente foi possível a detecção dos pontos P1 e P6 e as concentrações dos dois pontos ultrapassaram o limite aceito pela resolução CONAMA 357/05, estabelecido em 0,1 mg/L. O ponto P1 apresentou a maior concentração de alumínio com 0,83 mg/L. Nesta área existem indústrias de laticínios em funcionamento e seus efluentes contêm elevada concentração de matéria orgânica, de acordo com Cetesb (2016) em águas ricas em matéria orgânica ou mais ácidas as concentrações de alumínio encontram-se entre 0,5 a 1 mg/L. Já no ponto P6, o valor encontrado foi de 0,67 mg/L, este valor pode ser atribuído ao tipo de solo da região (Neossolo Arenoquartzoso) que apresenta alto teor de alumínio.

Quanto ao bário, não foram encontrados valores acima do limite permitido pela resolução CONAMA 357/05, estabelecido em 0,7 mg/L (água doce classe 2). Os valores mínimo e máximo registrados foram 0,027 mg/L (ponto P5) e 0,1 mg/L (ponto P1).

De acordo com os dados obtidos para os metais nos pontos de coleta no período de chuva, ficou evidente que os valores dos metais que ficaram acima do CONAMA 357/05 são decorrentes das características geológicas da bacia do rio Sergipe, concluindo que o rio não está contaminado por metais.

### 6.1.11 Coliformes Termotolerantes

Os coliformes termotolerantes são definidos como micro-organismos do grupo coliforme com capacidade de fermentar a lactose a uma temperatura entre 44 - 45°C. Alguns exemplos principais são: bactérias dos gêneros *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Enterobacter* e a *Escherichia coli*. Desses microrganismos, apenas a *E. coli* é puramente originária de fezes, sempre presente em elevadas densidades nas fezes de pássaros, humanos e mamíferos, e dificilmente identificada no solo ou água sem contaminação fecal. Os outros micro-organismos têm possível ocorrência em águas com elevadas quantidades de matéria orgânica, como o material vegetal, solo em decomposição e efluentes industriais (CETESB, 2006).

Em águas de regiões tropicais ou sub-tropicais sem nenhuma poluição evidente por material de origem fecal podem ser encontrados de forma igualitária, todavia, em águas de regiões de clima quente, sua presença não pode ser ignorada, pois a probabilidade da presença de micro-organismos patogênicos não pode ser excluída (CETESB, 2016).

Segundo a resolução CONAMA 357/05 as águas doces classe 2 e salobras classe 1 com o uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA 274, de 2000 ( $< 2500$  NMP/100mL), para os demais usos, não poderá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante um ano.

No período chuvoso (Figura 20), as maiores concentrações de coliformes termotolerantes foram registradas nos pontos P2 e P3 com concentrações de 6800 NMP/100mL e 4000 NMP/100mL, respectivamente, ou seja, ambos excederam o limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 e são consideradas impróprias para recreação de contato primário pela CONAMA 274/00, pois excederam o limite máximo de concentração. Esses dois pontos de coleta são influenciados por áreas de pastagens onde são verificadas atividades relativas à pecuária, o que influencia no valor elevado de coliformes. O ponto P5 também ultrapassou o limite da CONAMA 357/05 com concentração de 2200 NMP/100mL, nesta região também existem áreas voltadas para as atividades agropastoris possibilitando ser a justificativa para a concentração encontrada. O ponto P8 apresentou a concentração de 3300 NMP/100mL excedendo a resolução CONAMA 357/05, neste ponto existe influência de área urbana e devido a elevada concentração talvez possa existir algum ponto de lançamento de esgoto doméstico, sendo considerada pela CONAMA 274/00 como

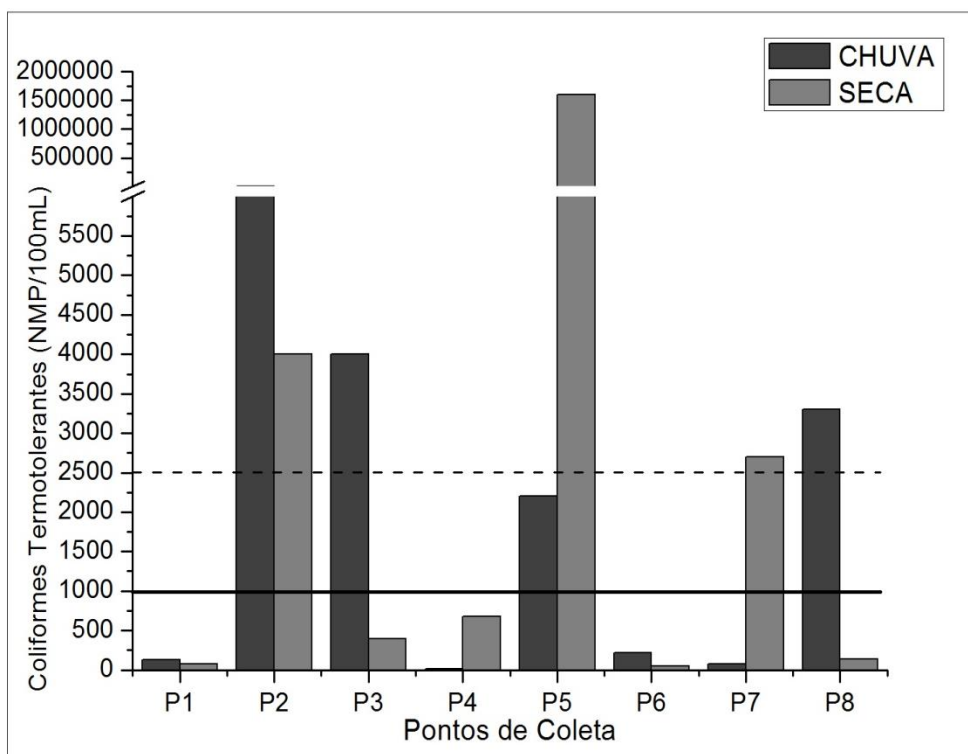
imprópria para balneabilidade. Os demais pontos de coleta ficaram abaixo do limite estabelecido pela CONAMA 357/05 e CONAMA 274/00.

No período seco (Figura 20), os valores de coliformes termotolerantes nos pontos P5 ( $>1600000$  NMP/100mL) e P7 (2700 NMP/100mL) foram bem maiores se comparados com o período da chuva. Como visto anteriormente na região do ponto P5 existem áreas voltadas para as atividades agropastoris, e a concentração de coliformes bem elevada evidencia de forma clara o alto nível de contaminação de origem fecal na época seca em que se observa elevadas temperaturas e a vazão e precipitação são menores, o que acaba dificultando a diluição nos corpos hídricos, tornando os coliformes existentes mais concentrados, o mesmo ocorre no ponto P7 em que se observam pontos de lançamentos de esgotos domésticos. O ponto P2 também apresentou a concentração de 4000 NMP/100mL excedendo a resolução CONAMA 357/05 e sendo considerada pela CONAMA 274/00 como imprópria para balneabilidade. Os demais pontos de coleta ficaram abaixo do limite estabelecido pela CONAMA 357/05 e CONAMA 274/00.

De acordo com a Portaria de Consolidação N° 5 de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde, todos os locais dos pontos de coleta são considerados impróprios para consumo humano, pois ela define que águas destinadas para esse uso devem apresentar ausência de coliformes termotolerantes em 100 mL da amostra.



**Figura 20** - Número mais provável de coliformes termotolerantes registrados no período chuvoso (agosto/2017) e seco (março/2018). Em destaque as linhas contínua e tracejada que representam os limites estabelecidos para rios de água doce classe 2 e água salobra classe 1 pelas resoluções CONAMA 357/05 (1000NMP/100mL) e CONAMA 274/00 (2500NMP/100mL), respectivamente.



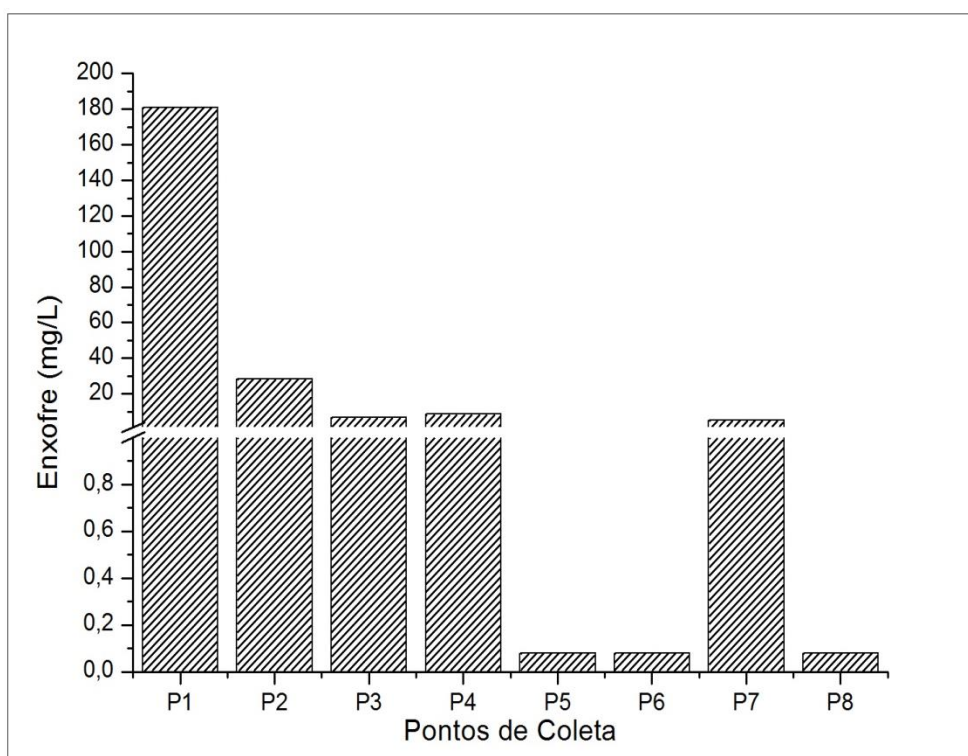
Fonte: Autor (2018).

#### 6.1.12 Enxofre

Em ecossistemas aquáticos o enxofre pode apresentar-se sob diversas formas: como íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), íon sulfito ( $\text{SO}_3^{2-}$ ), íon sulfeto ( $\text{S}^{2-}$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) enxofre molecular ( $\text{S}^0$ ) associado a metais, por exemplo,  $\text{FeS}$ . Dentre as várias formas de enxofre presentes na água, o íon sulfato e o gás sulfídrico são as mais frequentes, todavia, o íon sulfato é o mais importante na produtividade do ecossistema já que sendo que o íon sulfato assume maior importância na produtividade do ecossistema, visto que concebe para os produtores primários a principal fonte de enxofre. O enxofre advém para os ambientes aquáticos principalmente por três fontes: chuvas pela lavagem da atmosfera, agricultura devido à aplicação de adubos contendo enxofre e decomposição de rochas (ESTEVES, 1998).

Os valores da concentração de enxofre presentes nas águas dos pontos de coleta distribuídos pela bacia do Rio Sergipe, durante o período de chuva são mostrados na Figura 21. A maior concentração de enxofre foi detectada no ponto P1 (181 mg/L), o qual também apresenta a maior concentração de íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) o que acaba elevando o enxofre nessa região. O ponto P2 exibe a segunda maior concentração (28,5 mg/L), seguido dos pontos P4, P3 e P7 com (8,58, 6,77, 5,3 mg/L) respectivamente. Os demais pontos de coleta (P5, P6 e P8) encontraram-se abaixo do limite de detecção do método. O solo do ponto P6 é bastante ácido e arenoso, solos arenosos apresentam baixo teor de matéria orgânica e por serem muito ácido menor será a retenção de sulfato o que afeta na disponibilidade do enxofre.

**Figura 21** - Concentração de enxofre registrada no período chuvoso (agosto/2017).



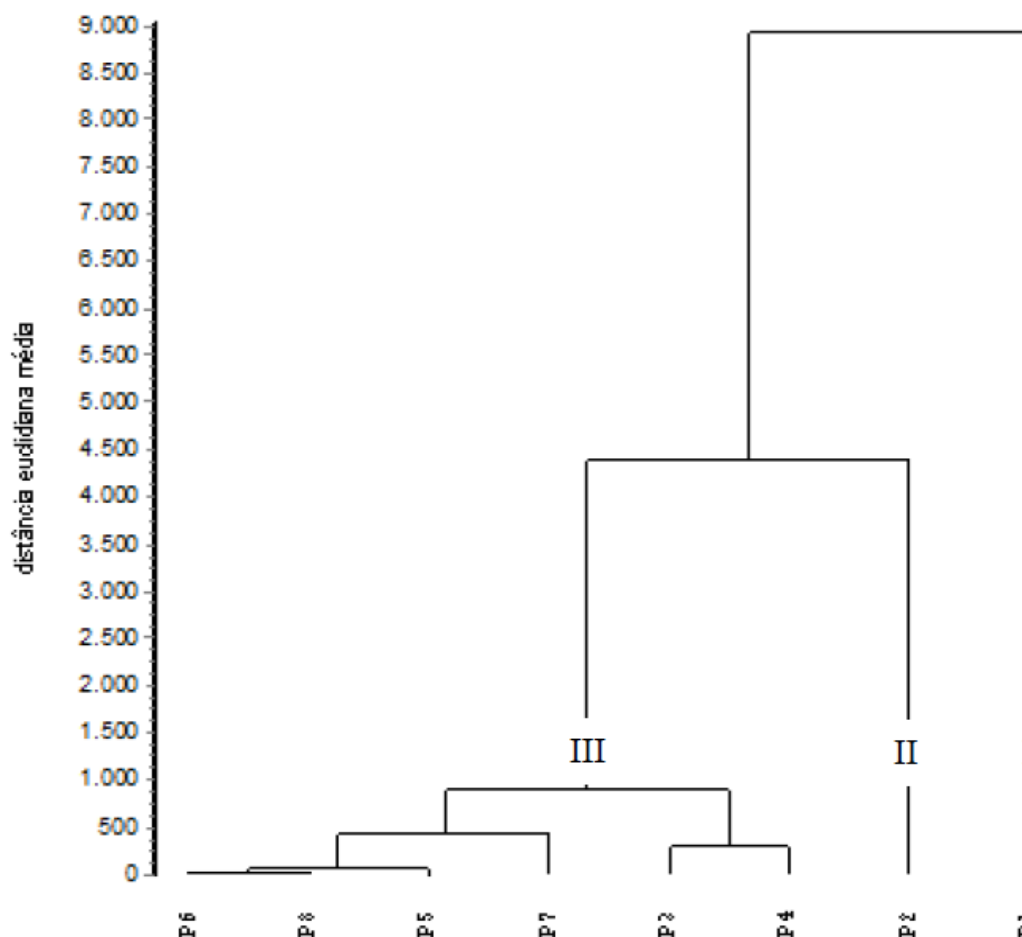
Fonte: Autor (2018).

## 6.2 Análise Estatística da Água

Os parâmetros limnológicos foram submetidos a uma análise multivariada PCA (análise de componentes principais). De acordo com a tabela 2 do apêndice 2, podemos observar que o total da variância explicada no primeiro componente foi de 59,86%, enquanto o segundo eixo teve 18,45% e o total geral da variância explicada pelos dois eixos foi de 78,31%. Através da análise de agrupamento em função dos parâmetros apresentados no apêndice 2, foi possível verificar três grupos distintos (coeficiente de correlação cofenético

“CCC” de 0,9726), a um nível de corte em torno de 1000 na distância euclidiana média (Figura 22).

**Figura 22** - Dendrograma obtido a partir da Análise dos Componentes Principais (PCA), para o período de coleta em agosto de 2017 (CCC = 0,9726).



O grupo I foi constituído pelo ponto P1 representando um maior grau de dissimilaridade em relação aos outros pontos de coleta. O ponto P1 corresponde a região do semiárido da bacia, região ocupada por pastagens e plantação de milho, este sistema, de forma geral, apresentou os valores mais elevados dos parâmetros condutividade elétrica, salinidade, sulfato, cloreto, enxofre, material em suspensão orgânico, além de elevados valores de Ca, Ba e Mg. Tais características conferiram este ponto como o mais divergente da bacia. Enquanto o grupo II, composto apenas pelo ponto P2 apresenta esses valores mais reduzidos, apresentando um grau intermediário da qualidade da água. O grupo III é composto pelos demais pontos P3, P4, P5, P6, P7, P8 apresentou menores valores dos parâmetros listados. Tal resultado, provavelmente, se deu em função do efeito da diluição encontrado no sistema, pois

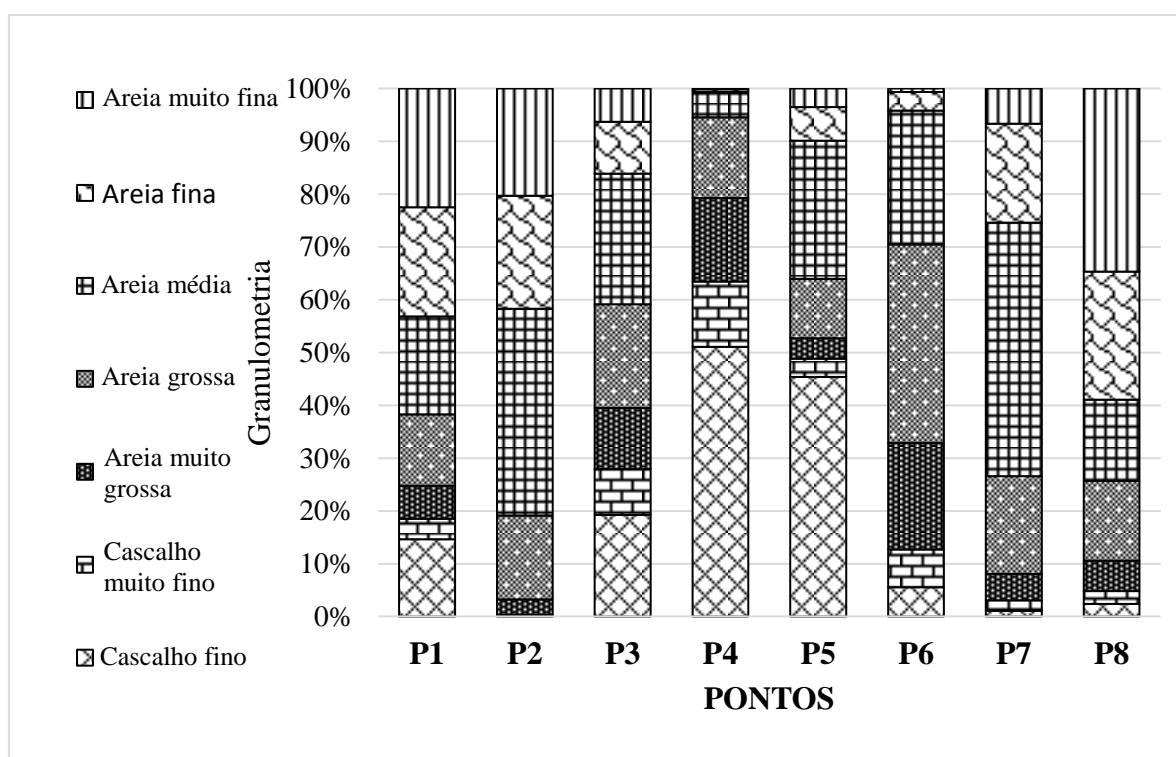
tais trechos apresentam contribuições de diversos tributários. Além disso, alguns pontos (P2, P3, P4 e P6) apresentaram maiores fragmentos de cobertura vegetal em suas margens, contribuindo para a redução da entrada de poluentes nos ecossistemas aquáticos.

### 6.3 Análise do Sedimento

#### 6.3.1 Análise Granulométrica

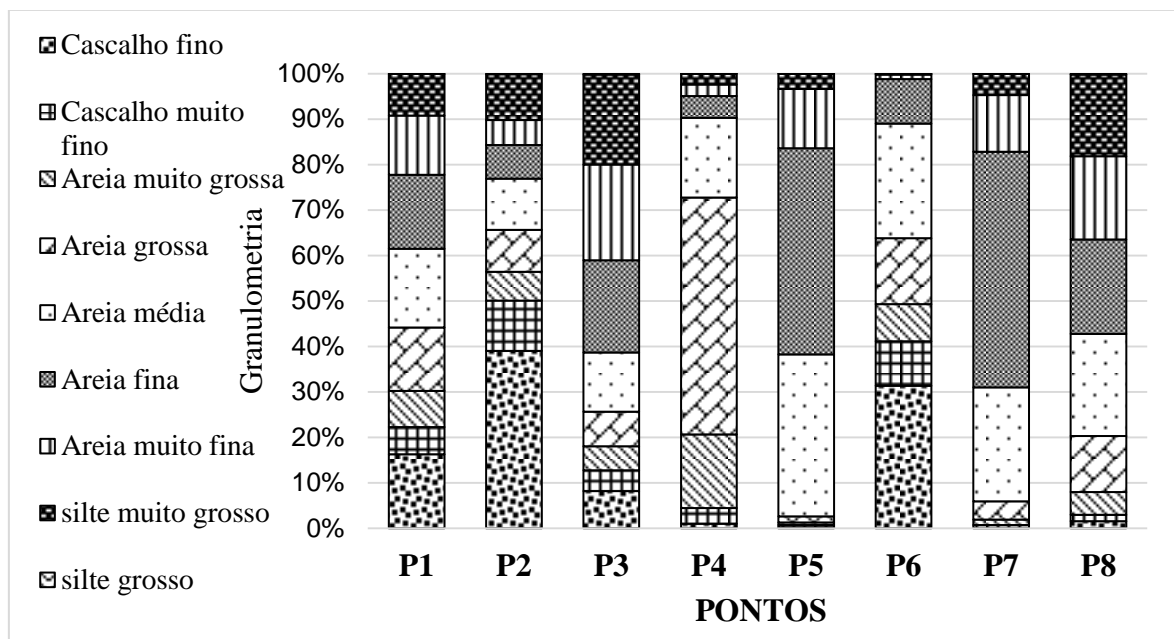
No período chuvoso, conforme mostra a Figura 23, observou-se uma grande variação nas frações dos sedimentos nos 08 pontos de coleta com dominância do sedimento arenoso. Nos pontos P2, P3 e P7 a maior fração foi de areia média com 39,1%, 24,70% e 48% respectivamente. O sedimento dos pontos P1 e P8 possui, predominantemente, areia muito fina apresentando 22,5% e 34,7% na sequência, enquanto o sedimento dos pontos de coleta P4 e P5 é constituído em sua maioria por cascalho fino com 51,10% e 45,40% respectivamente. Somente o ponto P6 teve predominância de sedimento do tipo areia grossa com a fração de 38,60%.

**Figura 23** - Análise granulométrica do sedimento dos pontos de coleta em agosto (período chuvoso).



Fonte: Autor (2018).

**Figura 24** - Análise granulométrica do sedimento dos pontos de coleta em março (período seco).



Fonte: Autor (2018).

No período seco, conforme mostra a Figura 24, observou-se também uma grande variação nas frações dos sedimentos nos 08 pontos de coleta com dominância do sedimento arenoso, porém, houve variação na predominância das frações dos pontos de coleta do período de chuva. No ponto P3 a maior fração foi de areia muito fina com 21,1%. O sedimento dos pontos P5 e P7 possui, predominantemente, areia fina apresentando na sequência 45,3% e 51,87%, enquanto o sedimento dos pontos de coleta P1, P6 e P8 é constituído em sua maioria por areia média com 17,3%, 25,2% e 22,4% respectivamente. Somente o ponto P4 teve predominância de sedimento do tipo areia grossa com a fração de 52,1% e o ponto P2 apresentando predominantemente cascalho fino com 39%.

Foi possível notar variações quanto à granulometria do sedimento nos períodos de coleta (chuva e seca): no período chuvoso a porcentagem de cascalho no geral foi maior em relação ao período seco; já na granulometria do período seco verificou-se o surgimento da fração de silte (muito grosso e grosso), o que não foi verificado no período chuvoso. Tal fato pode estar associado ao carreamento das frações mais finas no período de chuva graças a elevadas vazões, quando a precipitação e vazão foram menores no período seco, ocorreu maior facilidade de sedimentação das frações mais finas (silte), consequentemente mais leve.

### 6.3.2 *Matéria Orgânica*

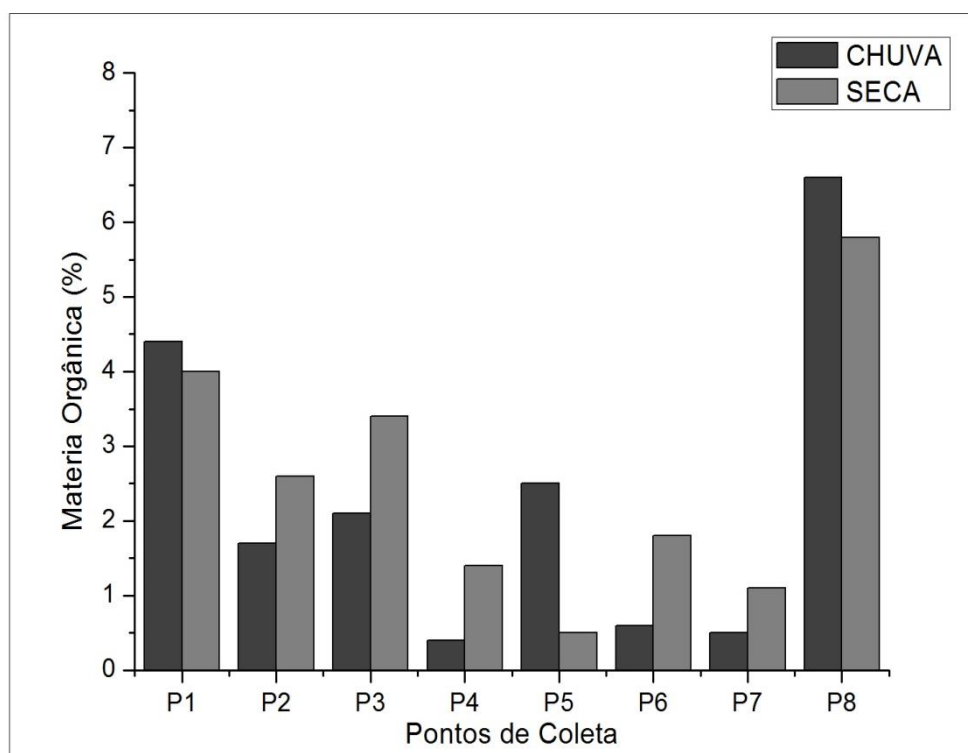
A matéria orgânica dissolvida pode ter origem nos processos de relações internas entre o metabolismo de organismos, a produtividade primária através da fotossíntese e também de fontes externas como as ações antrópicas (COSTA, 2011). De acordo com Webster e Benfield (1986) em ecossistemas aquáticos existem duas possíveis fontes de detritos, os que são produzidos fora do ecossistema (alóctone) e aqueles produzidos dentro do próprio sistema (autóctone). A contribuição de matéria orgânica alóctone é principalmente de origem terrestre como exemplo, frutos, insetos aquáticos, restos de vegetação e folhas, que geralmente ocorre em rios onde existem matas ciliares preservadas que produzem sombreamento (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

Pode-se observar que na bacia do rio Sergipe os sedimentos analisados nos períodos de coleta (chuva e seca) apresentaram menos de 10% de matéria orgânica, Esteves (1998) salienta que em muitos sistemas aquáticos continentais brasileiros a matéria orgânica não ultrapassa 10% e por esse motivo seus sedimentos são classificados como minerais. O mesmo acontece nos estudos de Cunha e Calijuri (2008) e Affonso (2010) onde essa particularidade se repete, e deste modo, os sedimentos dos rios também foram classificados como minerais.

No período chuvoso (Figura 25), o maior valor registrado da contribuição orgânica no sedimento foi de 6,6% registrado no ponto P8, neste ponto de coleta existe vegetação de galeria preservada o que contribui para o aumento do teor de matéria orgânica pela influência dos materiais alóctones, e também existe influência de área urbana no local, podendo ter algum tipo de lançamento de efluentes domésticos clandestino. O ponto de menor teor de matéria orgânica foi o ponto P4 com 0,4%.

No período seco (Figura 25), os valores da maioria dos pontos de coleta aumentaram, provavelmente associados aos materiais alóctones que ficam mais concentrados pela baixa precipitação, e a baixa turbulência das águas nestes locais e como consequência uma menor oxigenação do corpo d'água. O ponto P8 permaneceu sendo o maior valor registrado da contribuição orgânica no sedimento com 5,8% e o ponto com menor concentração foi o ponto P5 com 0,51%.

**Figura 25** - Análise da quantidade de matéria orgânica (M.O) nos sedimentos no período chuvoso (agosto/2017) e seco (março/2018).



Fonte: Autor (2018).

## 6.4 Análise de Dados da Comunidade Bentônica

### 6.4.1 Análise dos Organismos Bentônicos

De acordo com as análises quantitativas da comunidade bentônica foram encontrados ao todo 26 táxons ao longo da bacia rio Sergipe, sendo representados por Gastropoda, Insecta e Oligochaeta, que podem ser observados nos APÊNDICES 3, 4, 5 e 6. Os resultados da densidade (ind/m<sup>2</sup>) considerando os dois períodos de coleta (chuva e seca) podem ser verificados nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3** - Densidade dos organismos bentônicos (indivíduos/m<sup>2</sup>) coletados no sedimento dos pontos de coleta no período chuvoso, bem como a classificação quanto à tolerância frente às adversidades ambientais.

Período de Chuva										
ORDEM	TAXA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Classificação
Mesogastropoda	<i>Melanoides tuberculata</i>	69299	19363	77516	0	0	0	0	2803	Tolerante
Littorinimorpha	Hydrobiidae	255	0	0	0	0	0	0	0	Tolerante
Basommatophora	Biomphalaria sp	0	0	255	0	0	0	0	0	Tolerante
Oligochaeta*		0	510	127	4331	892	764	255	1146	Resistente
Hirudinea*		0	0	0	0	127	0	0	0	Resistente
Trichoptera	Hydropsychidae	0	0	510	127	0	255	0	0	Sensível
	Helicopsychidae	0	0	0	0	0	510	0	0	Sensível
Diptera	Chironomidae	0	6879	255	510	2420	1019	0	637	Resistente
	Tabanidae	127	0	0	0	0	0	0	0	Resistente
	Empididae	0	255	0	0	0	127	0	0	Resistente
	Psychodidae	0	127	0	0	0	0	0	0	Resistente
	Ceratopogonidae	0	255	0	0	0	1783	0	0	Resistente
Odonata	Libellulidae	127	127	0	0	0	0	0	0	Tolerante
	Aeshnidae	0	255	0	0	0	0	0	0	Tolerante
	Coenagrionidae	0	892	0	0	0	0	0	0	Tolerante
	Dictyodidae	0	0	0	127	0	127	0	0	Tolerante
	Zygoptera	0	0	127	0	0	0	0	0	Tolerante
	Gomphidae	0	0	0	0	0	0	0	127	Tolerante
Coleoptera	Noteridae	0	255	0	0	0	127	0	0	Tolerante
	Elmidae	0	127	0	0	0	255	0	0	Tolerante
	Hydrophilidae	255	127	510	0	0	0	0	0	Tolerante
	Gyrinidae	0	127	0	0	0	127	0	0	Tolerante
Hemiptera	Mesovellidae	0	127	0	0	0	0	0	0	Tolerante
TOTAL		70064	29427	79299	5096	3439	5096	255	4713	

\*Organismos classificados por subclasse

Fonte: Autor (2018).

**Tabela 4** - Densidade dos organismos bentônicos (indivíduos/m<sup>2</sup>) coletados no sedimento dos pontos de coleta no período seco, bem como a classificação quanto à tolerância frente às adversidades ambientais.

Período de Seca										
ORDEM	TAXA	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Classificação
Mesogastropoda	<i>Melanoides tuberculata</i>	842994	168917	7771	127	0	0	0	255	Tolerante
Basommatophora	Physidae	255	382	0	127	0	0	0	0	Tolerante
	Biomphalaria sp	127	382	255	255	0	0	0	0	Tolerante
Oligochaeta*		0	255	255	1274	127	0	637	1019	Resistente
Hirudinea*		0	0	0	127	0	0	0	0	Resistente
Trichoptera	Helicopsychidae	0	0	0	0	0	14013	0	0	Sensível
Díptera	Chironomidae	0	2420	764	255	892	764	255	255	Resistente
	Tipulidae	0	0	0	0	0	127	0	0	Resistente
	Stratiomyidae	0	0	0	0	0	0	0	127	Resistente
	Psychodidae	0	0	0	127	0	0	0	0	Resistente
	Ceratopogonidae	0	0	127	0	0	127	0	0	Resistente
Odonata	Zygoptera	0	0	0	0	0	255	0	0	Tolerante
	Gomphidae	0	0	0	127	0	127	0	0	Tolerante
Coleoptera	Elmidae	0	0	127	127	0	510	0	0	Tolerante
	Hydrophilidae	0	382	0	0	0	0	0	0	Tolerante
	Gyrinidae	0	0	0	0	0	255	0	0	Tolerante
Trichoptera	Hydropsychidae	0	0	0	0	0	127	0	0	Tolerante
TOTAL		843376	172739	9299	2548	1019	16306	892	1656	

\*Organismos classificados por subclasse

Fonte: Autor (2018).



As maiores densidades da comunidade bentônica foram registradas no período da seca com um total de 1.047.835 ind/m<sup>2</sup>, enquanto que no chuvoso foi de 197.389 ind/m<sup>2</sup>. Entretanto, comparando-se a riqueza entre os dois períodos de coleta, observou-se que no chuvoso o número de táxons foi maior (23) do que para o seco (17). E entre as estações de coleta no período chuvoso, os pontos P2 e P6 obtiveram a maior riqueza, 14 e 10 espécies, respectivamente. Tais resultados ocorreram porque nessas regiões há uma menor pressão das atividades antrópicas e, conseqüentemente os habitats tem maior estruturação, pois no P2 há remanescentes de matas ciliares e, o P6 está localizado em área de preservação ambiental. A maior densidade observada no período da seca do presente estudo também foi verificada no estudo de Bispo et al. (2001) realizado na microbacia do Rio das Almas na cidade de Pirenópolis (GO), em que a densidade relativa do período da seca foi de 51.418 ind/m<sup>2</sup>, enquanto que no chuvoso foi de 15.946 ind/m<sup>2</sup>. Os autores ressaltam como possível justificativa de que no período seco o ambiente torna-se mais estável e mais estruturado para abrigar as comunidades bentônicas. Segundo Extence (1981), o fato de ocorrer um aumento significativo da densidade de macroinvertebrados bentônico no período de seca, pode ser explicado pelo fato que no período da estiagem há uma menor vazão de água, o que diminui a profundidade dos leitos dos rios – aumentando a concentração de organismos e propiciando o aparecimento de larvas de insetos filtradores –, aumenta a concentração de suprimento alimentar e facilita o aquecimento das águas, além de haver um maior período de luminosidade, estimulando a reprodução.

Com relação aos organismos encontrados na época das chuvas, *Melanoides tuberculata* (Gastropoda) foi o mais abundante nos pontos P1 (99,47%), P2 (68,38%), P3 (98,04%) e P8 (60,56%), seguida por Oligochaeta nos pontos P4 (89,09%) e P7 (100%) e Díptera nos pontos P5 (75,34%) e P6 (69,52%), conforme a Figura 26.

Já no período da seca, a dominância de *Melanoides tuberculata* se repete e houve um aumento nos pontos P1 (99,95%), P2 (99,79%). A abundância de Díptera também aumentou nos pontos P3 (9,59%), P4 (15%), P5 (87,5%), P7 (28,57%) e P8 (23,08%). O mesmo pode ser observado com Oligochaeta nos pontos P3 (2,74%) e P8 (61,54). Tricoptera apresentou aumento da abundância no ponto P6 (86,72%), conforme a Figura 27.

Na região de cabeceira (P1, P2 e P3) a forte dominância de *Melanoides tuberculata* pode ser explicada pelos valores elevados de cálcio e magnésio, o que favorece na formação das suas conchas, bem como dos teores elevados de matéria orgânica registrados nessa região.

Otoni (2009) relatou em seu estudo realizado no rio Piranhas-Açu/RN que a presença dos moluscos foi favorecida pela área estudada ser ligeiramente alcalina. O mesmo pode ser observado no estudo de Oliveira et al. (2017), que ao descreverem a distribuição de moluscos exóticos invasores na Bacia do Rio Miranda no Mato Grosso do Sul, perceberam que a espécie *Melanoides tuberculata* foi mais abundante onde os valores de condutividade elétrica e material em suspensão eram elevados, e constatou também que o cálcio foi uma das principais variáveis para o desenvolvimento desses moluscos. No estudo de Barbosa et al. (2016) realizado com o intuito de avaliar um trecho do rio Apodi-Mossoró no município de Governador Dix-Sept Rosado, Rio Grande do Norte, relataram que a maior presença desses organismos nos pontos analisados pode estar relacionado a elevada matéria orgânica e devido a esses moluscos serem bastante resistentes à poluição.

Outro aspecto que deve ser destacado é que a densidade elevada observada nessas regiões indica que a espécie está bem estabelecida, fato este que é bastante preocupante, visto que outras espécies de gastrópodes foram encontradas em menor número e, portanto estabelecendo uma relação de exclusão competitiva. Segundo Coradin e Tortato (2006) a introdução de espécies exóticas é considerada a segunda maior causa de extinção de espécies no planeta, diminuindo assim a biodiversidade. Além disso, *M. tuberculata* pode atuar como hospedeiro intermediário do *Paragonimus westermanie* e do *Clonorchis sinensis*, ou seja, vetor de enfermidades de veiculação hídrica, como a clonorquíase e paragonomíase (POINTIER, 1993).

Com relação a origem, essa espécie é nativa da África e Ásia Oriental e sua primeira aparição no Brasil foi no ano de 1967 na cidade de Santos (SP) e, não se sabe ao certo como que essa espécie conseguiu se estabelecer em corpos d'água brasileiros, mas, acredita-se que aquaristas são os responsáveis pela sua introdução no país, por terem sido encontrados inicialmente em comércios de peixes ornamentais e em tanques de criação de peixes (VAZ et al., 1986). No estado de Sergipe foi relatada pela primeira vez em duas áreas de conservação, a Área de Proteção Ambiental do Litoral Sul (APA Sul), localizada na região meridional do estado e o Monumento Natural da Gruta do Angico (MNGA), localizado na região Noroeste do Estado e na fronteira com o Rio São Francisco (SOUTO et al., 2011).

Com relação à espécie *Biomphalaria ssp.*, foi verificado que nos pontos de coleta P1, P2, P3 e P4 no período da seca teve sua maior densidade no ponto P4. A existência deste

organismo é preocupante, pois se trata do hospedeiro intermediário da equistossomose, doença endêmica no Nordeste brasileiro (ABÍLIO et al., 2017).

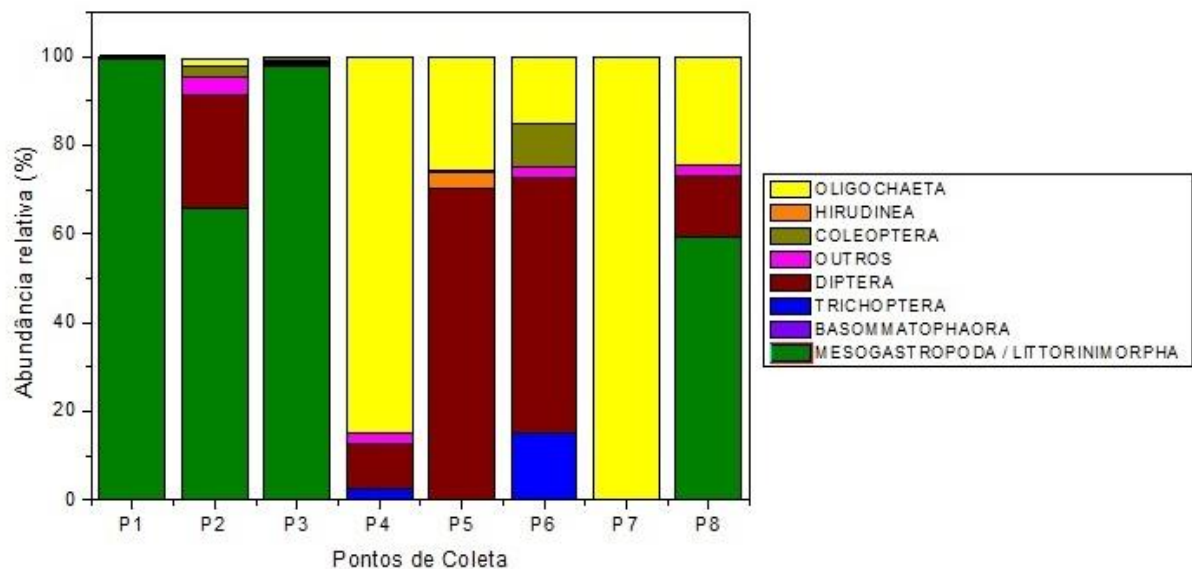
Já os organismos Chironomidae e Oligochaeta, foram encontrados em quase todos os pontos amostrais nos dois períodos de coleta. Sendo que a maior densidade de Chironomidae foi verificada no ponto P2 nos dois períodos de coleta. Este ponto apresentou valores de oxigênio dissolvido dentro do limite estipulado pela CONAMA 357/05 e nesta área existe vestígios de vegetação nativa nas margens do rio. Segundo Rodriguez (2001) a família Chironomidae dispõe de uma grande variedade de gêneros, alguns são predominantes em áreas não impactadas ou de baixo impacto, com baixa carga orgânica, como é o caso do *Lopescladius* e outros, como exemplo, *Chironomus*, são bastante tolerantes a elevada poluição orgânica em ambientes impactados. Já Oligochaeta também é considerado um organismo resistente e esteve presente em quase todos os pontos de coleta, mostrando-se muito tolerante aos impactos ambientais, ao passo que foi a única espécie encontrada no ponto P7, o ponto de coleta com lançamento de esgoto doméstico situado em área urbana. Dias et al. (2016) em seu estudo avaliando o rio Vieira, localizado em Montes Claros em Minas Gerais (MG), relata que as famílias Chironomidae predominaram na maioria dos pontos de coleta localizados em área urbana, onde o recurso hídrico recebe maior contribuição de poluentes advindos do lançamento de efluentes domésticos e industriais, indicando que esses organismos possuem de fato tolerância a poluição. Wander et al. (2012) ao avaliar a qualidade do rio das Velhas em Minas Gerais (MG) observou predominância dos organismos resistentes Oligochaeta e Chironomidae em corpos d'água com graves problemas de degradação.

Trichoptera é um organismo sensível e sua presença no ambiente pode ser um indício que aquela área encontra-se preservada, sua maior abundância relativa nos dois períodos de coleta foi verificada no ponto P6. A ordem Trichoptera é representada neste estudo pelas famílias Helycopsychidae e Hydropsychidae e, de acordo com a classificação de Goulart e Callisto (2003), é considerada sensível frente às adversidades ambientais e possuem a necessidade de viver em locais com elevadas concentrações de oxigênio dissolvido na água e geralmente vivem em ambientes com alta diversidade de habitats e microhabitats. A maior abundância relativa destes organismos foi verificada neste ponto P6 o que mostra que realmente é uma área preservada e com pouca interferência antrópica. O mesmo resultado foi encontrado por Teles (2012) em sua análise ao Riacho Água fria, mesma área do ponto P6 deste estudo, com registros de Trichoptera e Coleoptera considerados indicadores de boa qualidade de água. Johanson e Pham (2012) salientam que as larvas de todas as espécies da

família Helicopsychidae constroem seus abrigos móveis em forma de caracol utilizando grãos de areia e coladas com seda, relata ainda que vivem em corpos de água permanentes e de preferência em funcionamento, geralmente em córregos e rios florestais bem sombreados.

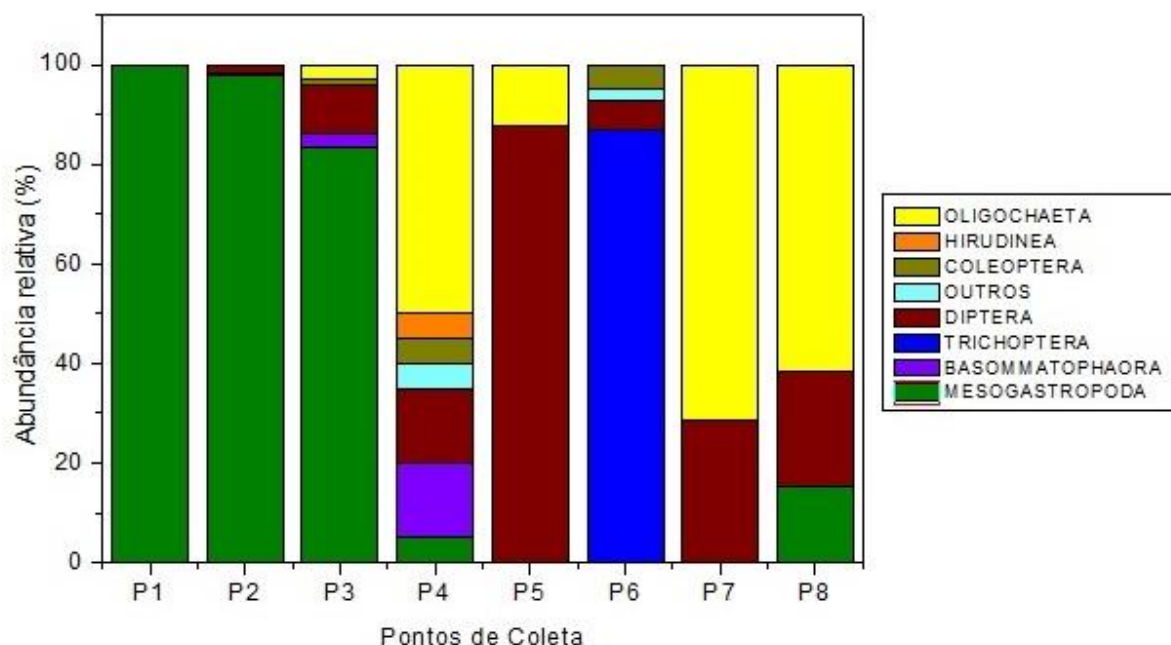
A maior densidade relativa das famílias Helicopsychidae e Hydropsychidae pertencentes à ordem Trichoptera foi verificada no ponto P6, o mesmo ocorreu com as famílias Ceratopogonidae (Diptera), Elmidae (Coleoptera) e Gyrinidae (Coleoptera), o que pode indicar que essas famílias apresentam uma maior afinidade por ambientes com melhor qualidade de habitat.

**Figura 26** - Abundância relativa (%) nos pontos de coleta da bacia do rio Sergipe na época de chuva.



Fonte: Autor (2018).

**Figura 27** - Abundância relativa (%) nos pontos de coleta da bacia do rio Sergipe na época de seca.



Fonte: Autor (2018).

Hirudinea (sanguessugas) são consideradas predadoras e possuem uma ventosa em uma das extremidades que utiliza para locomoção e se prender na presa, por se alimentarem de oligoquetos e larvas de insetos elas tendem existir em abundância em áreas poluídas que favorecem a desenvolvimento desses animais (SONODA, 2009). Esses organismos estiveram presentes no ponto de coleta P5 que apresenta forte interferência antrópica e também no ponto de coleta P4.

As ordens Odonata e Coleoptera de acordo com a classificação de Goulart e Callisto (2003) são organismos tolerantes a alguma interferência no ambiente e necessitam concentrações de oxigênio dissolvido menos elevadas se comparado com os sensíveis. A família Elmidae da ordem Coleoptera, esteve presente nos pontos de coleta com baixo impacto antrópico (P2, P3, P4) e sua maior densidade relativa foi no ponto P6. Por outro lado, não foram verificados exemplares desta família nos pontos P5, P7 e P8, os quais possuem interferência elevada de atividades antrópicas e fontes de poluição. O mesmo foi verificado no trabalho de Fernandes (2007), realizado na bacia do rio São Bartolomeu (Distrito Federal), que descreve que essa família foi eliminada nos pontos de maior poluição do sistema, onde existe descarte de efluentes e deposição de lama e lixo.

A família Libellulidae de acordo com Barbosa et al. (2006) vivem na maioria das vezes em beiras de rios e lagos com vegetação abundante e águas limpas ou pouco poluídas.

Esta espécie teve sua maior densidade relativa no ponto de coleta P2 que possui uma estreita faixa de vegetação nativa.

#### 6.4.2 *Análise dos Índices Ecológicos*

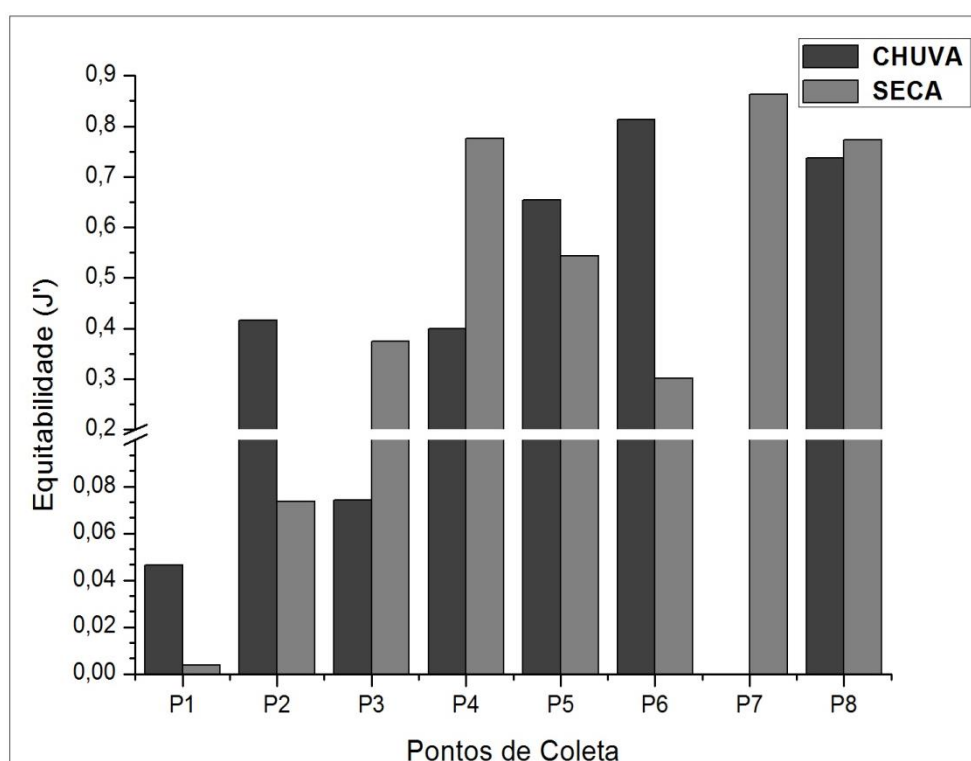
De acordo Hepp e Restello (2007) os índices de riqueza, diversidade e equitabilidade podem ser usados como parâmetro de qualidade das águas, e afirmam ainda que elevados valores desses parâmetros indicam boa qualidade de água, esse quadro pode ser verificado no período de chuva, no ponto P6, que apresentou o maior índice de Diversidade ( $H' = 2,7016$  bits/ind), a maior equitabilidade ( $J' = 0,8133$ ) e elevada riqueza ( $S = 10$ ), o que já era de se esperar, pois esse ponto faz parte do Parque Nacional da Serra de Itabaiana, uma Área de Preservação Ambiental do estado. O mesmo ocorre com o ponto P4 que no período de seca apresentou valores elevados de riqueza ( $S = 9$ ), diversidade ( $H' = 2,4610$  bits/ind) e equitabilidade ( $J' = 0,7763$ ), constatando que é possivelmente uma área com boa qualidade de água. Os valores dos parâmetros físico-químicos também evidenciam essa afirmação, pois todos se encontraram em conformidade com a Resolução CONAMA 357/2005.

Os valores de equitabilidade (uniformidade) estão fortemente associados com a diversidade e dominância, quanto mais homogêneo for o número de indivíduos por espécie maior a equitabilidade, maior a diversidade e consequentemente, menor a dominância. Desta forma, os pontos de coleta com a maior diversidade e menor dominância apresentam espécies mais abundantes uniformemente. Durante o período de chuva apresentou as menores diversidades ( $H' = 0,10769$ ) e equitabilidade ( $J' = 0,04638$ ), no período da seca manteve seu padrão e apresentou as menores diversidade ( $H' = 0,006103$  bits/ind) e equitabilidade ( $J'=0,0035851$ ), estes índices baixos são justificados pela dominância verificada dos *Melanoides tuberculata* comprovada pelos elevados valores no período chuvoso ( $D = 0,97833$ ) e seco ( $D = 0,9991$ ). Segundo Margalef (1983), ambientes com baixa diversidade e dominância de poucas espécies são características de ambientes eutrofizados. O Ponto P7 no período chuvoso apresentou diversidade zero (0) o que confirma de acordo com as análises anteriores que este ponto encontra-se fortemente impactado por atividades antrópicas. Ainda no mesmo período de chuva, o ponto P2 apresentou a maior riqueza de táxons (14), dominância mediana ( $D = 0,4893$ ) e consequentemente uma elevada diversidade ( $H' = 1,589$  bits/ind), já no período de seca, a riqueza de táxons diminuiu (6) e a dominância aumentou ( $D$

= 0,9565) e consequentemente baixos valores de equitabilidade ( $J' = 0,07360$ ) e diversidade ( $H' = 0,1902$  bits/ind).

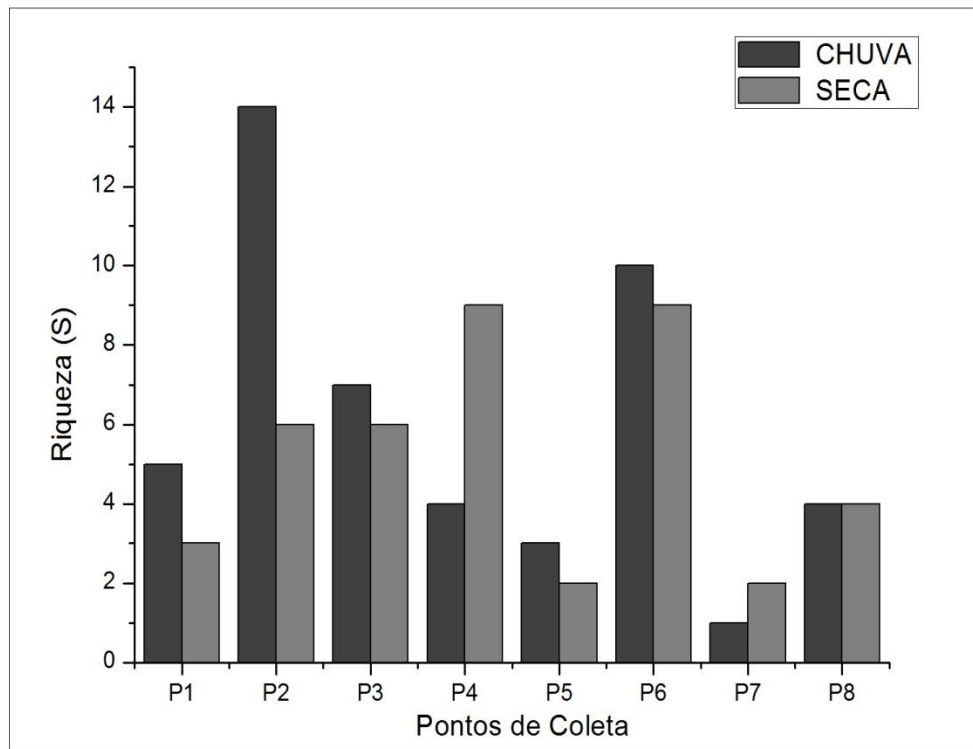
Os valores de equitabilidade, riqueza, diversidade e dominância podem ser verificados nas Figuras 28, 29, 30, 31, respectivamente. Nas figuras fica evidente como a equitabilidade e a diversidade são diretamente proporcionais, ao passo que são inversamente proporcionais a dominância.

**Figura 28** - Equitabilidade ao longo da bacia do rio Sergipe, no período de chuva e seca.



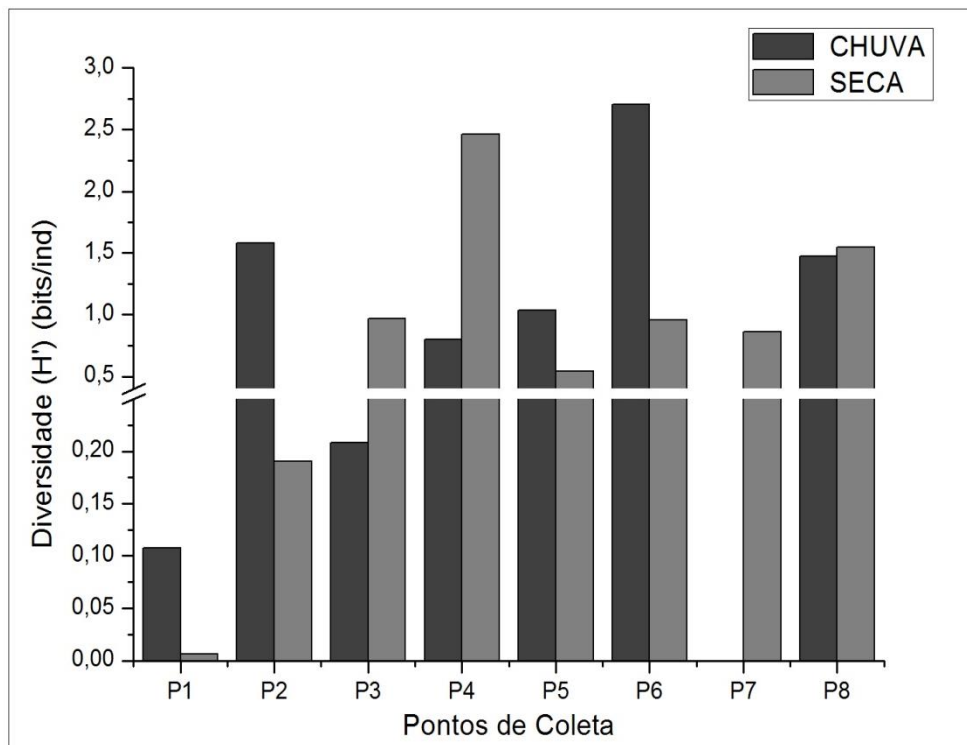
Fonte: Autor (2018).

**Figura 29** - Riqueza ao longo da bacia do rio Sergipe, no período de chuva e seca.



Fonte: Autor (2018).

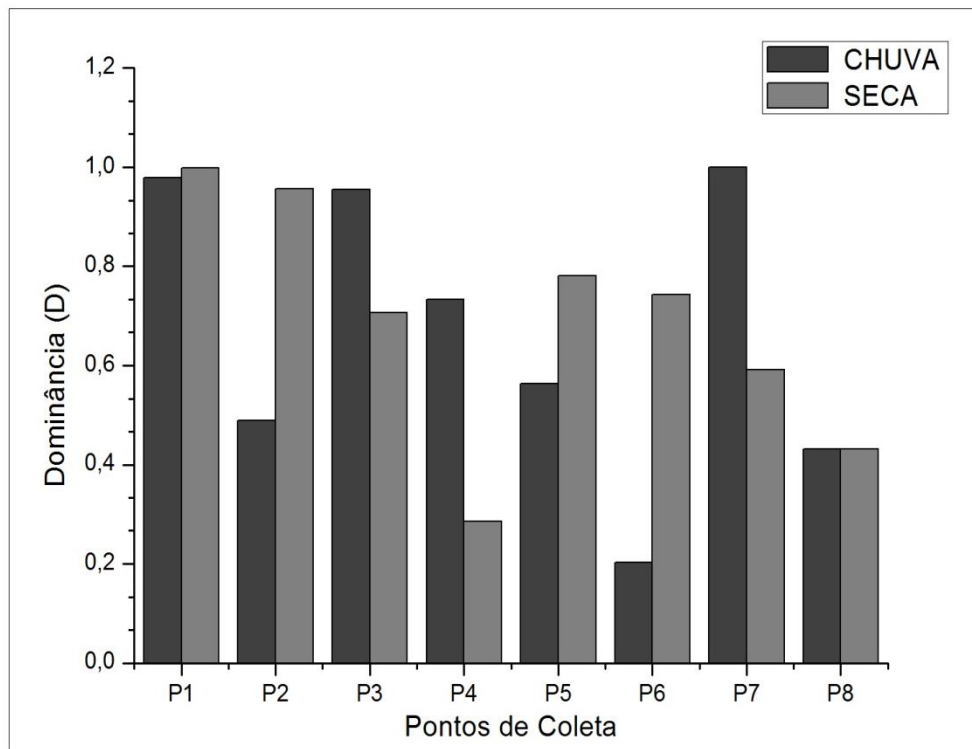
**Figura 30** - Diversidade (bits/ind) ao longo da bacia do rio Sergipe, no período de chuva e seca.



Fonte: Autor (2018).



**Figura 31** - Dominância ao longo da bacia do rio Sergipe, no período de chuva e seca.



Fonte: Autor (2018).

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No tratamento dos dados dos parâmetros salinidade, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, material em suspensão, íon amônio, fósforo total, íon cloreto, íon sulfato, metais (Ca, Mg, Fe, Mn, Al, Ba), coliformes termotolerantes e enxofre, através da análise de componentes principais seguida da análise de agrupamento hierárquico, foi possível caracterizar e separar a bacia do rio Sergipe em três grandes grupos distintos:

a) Grupo I – representado pelo ponto P1 a região de cabeceira da bacia, onde foi verificada forte contribuição antrópica (agricultura de milho e cana-de-açúcar, supressão da mata ciliar e indústrias de laticínios) contribuindo para a degradação da qualidade ambiental e apresentou elevada presença de íons sulfato, cloreto, cálcio, magnésio, elevada salinidade e condutividade que são características típicas de rios da região semiárida brasileira;

b) Grupo II – representado pelo ponto P2, onde ainda foram verificados elevados valores de condutividade e íons (cloreto, cálcio, magnésio) e maiores valores de coliformes termotolerantes e de fósforo, sendo considerada de qualidade intermediária entre o Grupo I e Grupo II.

c) Grupo III – representado pela região média e baixa da bacia que inclui os pontos P3, P4, P5, P6, P7 e P8 a região média e baixa da bacia, onde sofre forte influência da urbanização (esgoto domésticos, lavagens de animais) e contribuição antrópica (atividades agropastoris, agricultura, poços de perfuração de petróleo, atividades de extração de areia), equilibrados por uma Área de Preservação Ambiental. Neste grupo os valores dos parâmetros listados acima foram menores, e tal resultado, provavelmente, se deu em função do efeito da diluição encontrado no sistema, pois tais trechos recebem contribuições de diversos tributários. Além disso, alguns pontos (P2, P3, P4 e P6) apresentaram maiores fragmentos de cobertura vegetal em suas margens, contribuindo para a redução da entrada de poluentes nos ecossistemas aquáticos.

Diversos fatores contribuíram para a distribuição dos organismos bentônicos nos pontos de coleta analisados, que foram: a) a sazonalidade pluviométrica, que influencia no carreamento dos sedimentos e no volume de fluxo; b) a pedologia e a geologia da região, que influencia na qualidade da água; c) as interferências antrópicas, que influenciam na resistência dos organismos nesses trechos.

Ficou evidente a forte influência dos parâmetros analisados ao favorecerem ou dificultarem a existência dos organismos bentônicos em cada ponto de coleta, mostrando que para obtenção de parâmetros mais completos da estrutura e qualidade de corpos hídricos é necessária a integração dos mesmos, além de que a identificação e análise das comunidades bentônicas mostra que é possível compreender e monitorar a qualidade das águas nos rios, sem recorrer sempre aos parâmetros físicos químicos.

Considerando os resultados da identificação da fauna de macroinvertebrados bentônicos ficou claro que cada organismo esteve presente nos pontos amostrais de acordo com a sua classificação quanto à tolerância frente às adversidades ambientais. Nos pontos de coleta P1, P5, P7 e P8 considerados mais impactados foram encontrados somente Diptera, Oligochaeta e *Melanoides tuberculata* classificados como organismos resistentes à poluição. Já nos pontos de coleta P2, P3, P4 considerados de médio a baixo impacto foram registrados Odonata, Coleoptera, Hirudinea, os quais são classificados como organismos tolerantes à poluição, estando presentes também os organismos resistentes. No ponto de coleta considerado preservado o P6, estiveram presentes os organismos considerados sensíveis Trichoptera, juntamente com os tolerantes e resistentes. Concluindo-se que os organismos são distribuídos nos locais de acordo com sua tolerância a poluição, os sensíveis estão presentes apenas nas regiões preservadas, os tolerantes conseguem viver em locais preservados e com média a baixo impacto, ao passo que os resistentes vivem em qualquer ambiente inclusive em locais com alto impacto.

Com relação aos organismos bentônicos, o que apresentou a maior densidade relativa foi a espécie *Melanoides tuberculata* e, a maior preocupação da presença desse organismo é por ser considerado invasor acaba erradicando espécies nativas, interferindo na biodiversidade local.

Diante desse contexto, é possível observar a importância dos bioindicadores para avaliação de impacto ambiental, visto que, eles respondem as alterações em seu habitat. A utilização de bioindicadores juntamente com os parâmetros físico-químicos em programas de monitoramento ambiental se faz necessária, uma vez que permitem identificar de fato se um ambiente está degradado, pois, às vezes utilizar somente os parâmetros não é suficiente para descrever a real qualidade de um ecossistema.

Torna-se também evidente, portanto, que a bacia do rio Sergipe precisa ser continuamente monitorada, a fim de minimizar os impactos da crescente urbanização que

acontece no seu entorno. Dessa forma, é necessário o acompanhamento e a fiscalização do cumprimento à legislação ambiental, caso contrário a bacia continuará num processo crescente de degradação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABÍLIO, Francisco José Pegado et al. MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COMO BIOINDICADORES DE QUALIDADE AMBIENTAL DE CORPOS AQUÁTICOS DA CAATINGA. *Oecologia Brasiliensis*, v. 11, n. 3, p.397-409, 2007.

AFFONSO, Ana Lucia Suriani. Caracterização limnológica e análise da comunidade de macro-invertebrados bentônicos em um trecho da sub-bacia do alto Rio São Francisco (MG, Brasil). 2010. 188 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. Conjuntura. 205 pp. 2011.

AGUIAR, Mônica Regina Marques Palermo de et al. REMOÇÃO DE METAIS PESADOS DE EFLUENTES INDUSTRIAIS POR ALUMINOSSILICATOS. *Química Nova*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 6, p.1145-1154, maio 2002.

ALEGRE, Gabriel Fonseca. Avaliação Ecotoxicológica de Sedimentos do Rio Tietê, entre os municípios de Salesópolis e Suzano, SP. 2009. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ALVES, José do Patrocínio Hora (Org.). RIO SERGIPE: importância, vulnerabilidade e preservação. São Cristóvão: Editora Ufs, 2006. 222 p.

ANDRÉ, Daniela Severo et al. Conservação e Uso Racional da Água: Novos hábitos para evitar a escassez dos recursos hídricos e para a continuidade do bem finito. In: XII SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2015, Rezende. p. 1 - 13.

ARAÚJO, Hélio Mário de et al. Relações socioambientais na bacia hidrográfica do alto rio sergipe. São Cristóvão, 2009. 15 p.

AZRINA, M.Z; YAP, C. K.; ISMAIL, A.R.; ISMAIL, A; TAN, S.G.(2006). Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat river, Peninsular Malaysia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. V. 64, n.3, p.337-347.

BAPTISTA, D. F.; BUSS, D. F.; DORVILLÉ, L. F. M.; NESSIMIAN, J. L. Diversity and habitat preference of aquatic insects along the longitudinal gradient of the Macaé river basin, Rio de Janeiro, Brazil. *Revista Brasileira de Biologia*, São Carlos, v. 61, n. 2, p. 249–258, 2001.

BARBOSA, Antônio Helton da Silva et al. MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS COMO BIOINDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA EM UM TRECHO DO RIO APODI-MOSSORÓ. *Holos*, [s.l.], v. 7, p.121-132, 12 nov. 2016. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2016.4183>.

BARBOUR, M.T.; GERRITSEN, J.; Snyder, B.D. & Stribling, J.B. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, 2a ed. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.

BARRETO, Paulo Roberto. A qualidade da água dos açudes de carira e do buri. 2009. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Agroecossistemas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

BINI, L. M. Análises multivariadas e limnologia: exploração, síntese e inferência de um mundo aquático completo. In: BICUDO, C. E. M.; BICUDO, D. C. Amostragem em limnologia. p. 73-107. Ed. Rima. 2004.

BISPO P. C. et al. A pluviosidade como fator de alterações da entomofauna bentônica (Plecoptera, Ephemeroptera e Trichoptera) em um córrego do Planalto Central do Brasil. *Acta Limnológica Bras.*, v. 13, n. 2, p. 1-9, 2001.

BISPO, Pitágoras da Conceição et al. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil: Environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. *Brazilian Journal Of Biology*, São Carlos, v. 66, n. 2, p.611-622, maio 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Alternativas Organizacionais para Gestão de Recursos Hídricos. Brasília: Mares Design e Comunicação. 121 p.

BRASIL. Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo*, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39-46.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. *Diário Oficial da União*, Brasília, 03 out. 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 21 mar. 2005.

BUBEL, A.P.M. (1998). Caracterização limnológica do rio do Peixe (microrregião geográfica de Botucatu-SP), em duas épocas do ano (períodos de seca e chuva). Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 217p.

BURITI, Catarina de Oliveira; BARBOSA, Erivaldo Moreira. POLÍTICAS PÚBLICAS DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL: OLHARES SOB UMA PERSPECTIVA JURÍDICA E HISTÓRICO-AMBIENTAL. *Veredas do Direito*, Belo Horizonte, v. 11, n. 22, p.225-254, nov. 2014.

CALLISTO, M.; GONÇALVES, J.F. Jr.2002. A vida nas águas das montanhas. *Ciência Hoje* 31 (182): 68-71.

CALLISTO, M.; MORETTI, M. & GOULART, M. 2001. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. *Revista. Bras. Rec. Hid.* 6 (1): 71-82.

CAMPAGNA, Aline Fernanda. Toxicidade dos sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho (São Carlos - SP): ênfase nas substâncias cobre, aldrin e heptacloro. 2005. 281 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Zootecnia, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2005.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2016. / CETESB. - - São Paulo: CETESB, 2017.

CORADIN, Lidio; TORTATO, Danielle Teixeira. Espécies exóticas invasoras: situação brasileira. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 24 p.

COSTA, D.C. 2011. Caracterização e Tratamento de Efluentes Resultantes Da Actividade de Produção de Queijo. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Universidade Nova de Lisboa.

CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C. Comparação entre os teores de matéria orgânica e as concentrações de nutrientes e metais pesados no sedimento de dois sistemas lóticos do Vale do Ribeira de Iguape, SP. Engenharia Ambiental, v. 5, n. 2, p. 24-40, 2008.

DANZE, Alana de Pontes; VERCELLINO, Ilka Schincariol. Uso de bioindicadores no monitoramento da qualidade da água. Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade, [s.l.], v. 11, n. 1, p.100-115, 26 fev. 2018.

DIAS, Ozanan de Almeida et al. Macroinvertebrados bentônicos como indicadores da qualidade das águas do rio vieira, montes claros, mg. In: XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 2016, Poços de Caldas. p. 1 - 10.

DORNFELD, Carolina Busu. Utilização de análises limnológicas e bioensaios toxicológicos em macroinvertebrados bentônicos para o diagnóstico ambiental do reservatório de Salto Grande (Americana, SP), 2002. Dissertação (mestrado). São Carlos, 2002. 196p.

DORNFELD, Carolina Busu. Utilização de Chironomus sp (Diptera, Chironomidae) para a avaliação da qualidade de sedimentos e contaminação por metais. 2006. 211 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 2 ed – Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.

ESTEVES, F. A. (Org.). Fundamentos de Limnologia.3ª Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826p.

EXTENCE, C.A. 1981. The effect of drought on benthic invertebrate communities in a lowland river. Hydrobiologia, 83: 217-224.

FAY, Elisabeth F.; SILVA, Célia Maria M. S.. Índice do uso sustentável da água (isa-água) - região do submédio São Francisco. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 158 p.

FERNANDES, Adriana Cristina Marinho. Macroinvertebrados Bentônicos como Indicadores Biológicos de Qualidade da Água: Proposta para Elaboração de um Índice de Integridade Biológica. 2007. 226 f. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília, Brasília.

FERRAZ, Ive Ciola. Estudo da comunidade bentônica como ferramenta bioindicadora da qualidade da água em um rio de pequena ordem (rio Canha, baixo Ribeira de Iguape,

SP). 2008. 141p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

FERREIRA, Gabriel Luis Bonora Vidrih; FERREIRA, Natália Bonora Vidrih. Fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 13., 2006, Bauru. p. 1 - 11.

FERREIRA, Juliana Simião. Entomofauna Aquática e sua Distribuição na Microbacia do Córrego Barreiro do Campus da UEG, Anápolis, Goiás. Revista de Ciências Ambientais e Saúde, Goiânia, v. 38, n. 2, p.381-396, abr./jun. 2011.

FERREIRA, Maria Teresa. Estudo Estratégico para a Gestão das Pescas Continentais: Bases Ecológicas para a Gestão de Sistemas Fluviais. 2006. 160 f. Curso de Engenharia Florestal, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 2006.

FERREIRA, Wander Ribeiro et al. Biomonitoramento de Longo Prazo da Bacia do Rio das Velhas Através de um Índice Multimétrico Bentônico. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p.253-259, jul./set. 2012.

FOLK, R. L. & WARD, W. C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. J. sedim. Petrology, 27(1):3-27.

FRANCO, Camila Faionato et al. INFLUÊNCIA DO LANÇAMENTO DE ESGOTO ORGÂNICO NAS CARACTERÍSTICAS LIMNOLÓGICAS DE CÓRREGOS AFLUENTES DO RIO CAMANDOCAIA, AMPARO/SP – ETAPA II. Unisepe Mantenedora, Amparo, p.19-26, 2012.

GOMES, Necival Santos et al. ESTUDO DE PARÂMETROS QUÍMICOS NAS ÁGUAS DO RIO IMBASSAÍ NO TRECHO DO MUNICÍPIO DE DIAS D'ÁVILA – BA. Candombá – Revista Virtual, Salvador, v. 3, n. 1, p.1-14, jan - jun. 2007.

GOULART, M.; CALLISTO, M. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. Revista da FAPAM, ano 2, nº1, 2003

GUIMARÃES, Aline Chein; RODRIGUES, Clarissa. Linguagem Científica e Conceito de Oxigênio Dissolvido no Projeto Água em Foco. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA (XVI ENEQ) E X ENCONTRO DE EDUCAÇÃO QUÍMICA DA BAHIA (X EDUQUI). Salvador, 2012. p. 1 - 9.

HAUER, F. R.; RESH. V. H. Benthic macroinvertebrates. In: HAUER, F. R.; LAMBERTI, G. A. (Eds.). Methods in Stream ecology. San Diego: Academic Press, 1996. p. 339- 369.

HEPP, L.U.; RESTELLO, R.M. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade das águas do Alto Uruguai Gaúcho. In: ZAKRZEWSKI, S.B.B.(Org.). Conservação e uso sustentável da água: múltiplos olhares. Erechim: Edifapes, 2007. p.75-85.

JACOMINE, P. K. T. et al. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do estado de Sergipe. Recife, EMBRAPA, Centro de Pesquisas Pedológicas, 1975. Ilus. (Brasil. EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Boletim Técnico, 36). Brasil, SUDENE, DRN. Divisão de Recursos Renováveis, 6.

JOHANSON, Kjell A.; PHAM, Hong-thai. Three new species of Helicopsyche (Trichoptera, Helicopsychidae) from northern Vietnam, with a key to Helicopsyche species of Vietnam. European Journal Of Taxonomy 6, p.1-10, 2012.



KRUPEK, R.A.; BRANCO, C.C.Z.; PERES, C.K. Variação sazonal de alguns parâmetros físicos e químicos em três rios pertencentes a uma bacia de drenagem na região centro-sul do Estado do Paraná, Sul do Brasil. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, v. 30, n. 4, p. 431-438, 2008.

LESSA, Majane Marques Dias; SILVA, Ana Alexandrina Gama da. Avaliação da Qualidade da Água do Rio Sergipe no Município de Laranjeiras, Sergipe - Brasil. In: ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE, 7., 2014, Aracaju. p. 1 - 5.

LIMA, Jôse Raymara Alves. Remoção de metais em água utilizando eichhornia crassipes na forma in natura, biocarvão e híbrido magnético. 2018. 103 f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão.

LIMA, Robson Silva de. Qualidade da água dos reservatórios situados na bacia hidrográfica dos rios piauí – real: uma avaliação com base em técnicas estatísticas multivariadas e razões iônicas. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão.

MACKIE, Gerald L. 1998. *Applied Aquatic Ecosystem Concepts*. University of Guelph Custom Coursepack. 12 chapters, Index.

MAGURRAN, A.E. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing. 256 p., 2004.

MARGALEF, R. *Limnologia*. Ed. Omega. 1010 p., 1983.

MELQUIADES, Andréia de Fatima Siqueira. USO DO OSSO BOVINO NA REMOÇÃO DE METAIS PESADOS NA ÁGUA. 2014. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Química (bacharelado), Universidade do Vale do Paraíba, Jacareí.

MILESI, S. V.; BIASI, C.; RESTELLO, R. M; HEPP, L. U. Efeito de metais cobre (Cu) e Zinco (Zn) sobre a comunidade de macroinvertebrados bentônicos em riachos do sul do Brasil. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, v. 30, n. 3, p. 283-289, 2008.

MUÑOZ, Lucien. A cooperação pela água como caminho para a paz. In: RIBEIRO, Sérgio Augusto et al (Org.). *Água e cooperação: reflexões, experiências e alianças em favor da vida*. Brasília: Ararazul - Organização Para A Paz Mundial, 2014. p. 31-36.

ODUM, E.P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 434 p., 1983.

OLIVEIRA, Lourenço Algemiro de; HENKES, Jairo Afonso. POLUIÇÃO HÍDRICA: POLUIÇÃO INDUSTRIAL NO RIO DOS SINOS-RS. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 2, n. 1, p.186-221, abr. /set. 2013.

OLIVEIRA, Márcia Divina de et al. Ocorrência de moluscos exóticos invasores no Rio Miranda, Bacia do Rio Paraguai, MS. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2017. 14 p.

OTTONI, Bianca Maíra de Paiva. Avaliação da Qualidade da água do rio Piranhas-Áçu/RN utilizando a comunidade de macroinvertebrados bentônicos. 2009. 92 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

PAULA, Cecília Maria de. Monitoramento Ambiental através de macroinvertebrados bentônicos em riachos tropicais. In: Congresso Nacional de Iniciação Científica, 14., 2014, São Paulo. p. 1 - 11.

PESSOA, Jonatan Onis et al. Qualidade da água de rios em cidades do Estado da Bahia. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, [s.l.], v. 23, n. 4, p.687-696, ago. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018166513>.

PINTO, Magda Cristina Ferreira. Manual Medição in loco: Temperatura, pH, Condutividade Elétrica e Oxigênio Dissolvido. 2007. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao\\_territorial/geologia\\_medica/manual\\_medicoes\\_T\\_%20pH\\_OD.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/gestao_territorial/geologia_medica/manual_medicoes_T_%20pH_OD.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2018.

PIRATOBA, Alba Rocio Aguilar et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, [s.l.], v. 12, n. 3, p.435-456, 2 maio 2017. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1910>.

POINTIER, J.P.; THALER, L.; PERNOT, A.F. & DELAY, B. Invasion of the Martinique Island by the parthenogenetic snail *Melanoides tuberculata* and the succession of morphs. *Acta Ecologica*, 14(1): 33-42, 1993.

QUEIROZ, Júlio Ferraz de; SILVA, Mariana Silveira Guerra Moura e; TRIVINHO-STRIXINO, Susana (Ed.). *Organismos Bentônicos: biomonitoramento de qualidade de água*. Jaguariúna: Embrapa, 2008. 91 p.

REECE, P.F. & RICHARDSON, J.S. 1999. Biomonitoring with the reference condition approach for the detection of aquatic ecosystems at risk. In: L. M. Darling (ed.) *Proc. Biology and Management of Species and Habitats at Risk*. vol. 2. pp. 15-19.

RODGHER, S.; ESPÍNDOLA, E. L. G.; ROCHA, O.; FRACÁCIO, R.; PEREIRA, R. H. G.; RODRIGUES, M. H. S. Limnological and ecotoxicological studies in the cascade of reservoirs in the Tietê River (São Paulo, Brazil). *Brazilian Journal Biology*, p.65, n.4, p.697-710, 2005.

RODRIGUES, Ingrid Silva et al. DEGRADAÇÕES AMBIENTAIS NO RIO COLÔNIA NO TRECHO URBANO DO MUNICÍPIO DE ITORORÓ, BAHIA. *Enciclopédia Biosfera*, [s.l.], v. 13, n. 24, p.1174-1188, 6 dez. 2016. Centro Científico Conhecer. [http://dx.doi.org/10.18677/encibio\\_2016b\\_110](http://dx.doi.org/10.18677/encibio_2016b_110).

RODRÍGUEZ, Marlon Peláez. Avaliação da Qualidade da água da bacia do Alto Jacaré-Guaçu/SP (Ribeirão do feijão e Rio do monjolinho) através de variáveis físicas, químicas e biológicas. 2001. 175 f. Tese (Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos).

ROSENBERG, D. M. & RESH, V.H. 1993. Introduction to freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. In: *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. (eds.) Rosenberg, D.M. and Resh, V.H. Chapman and Hall, New York, pp. 1-9.

SANTOS, Matheus Ferreira dos et al. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água em viveiros escavados com produção de tilápia. In: 10 ° CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – CIIC, 2016, Campinas. p. 1 - 9.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS - SEMARH, Atlas digital. 2014.

SÉ, João Alberto da Silva. O rio Monjolinho e sua bacia hidrográfica como integradores de sistemas ecológicos: um conjunto de informações para o início de um processo de pesquisa

ecológica, de educação e gerenciamento ambiental a longo prazo, 1992. 177 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Universidade de São Paulo, São Carlos.

SERGIPE. Governo do Estado. Gestão Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia – SEPLANTEC. Superintendência de Recursos Hídricos – SRH. Gestão participativa das águas de Sergipe. Aracaju, 2002. 72 p.

SERGIPE, Governo do Estado. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Superintendência de Recursos Hídricos. Proposta de uma metodologia de enquadramento para a bacia do Sergipe com a utilização dos dados de qualidade de água disponibilizados pela SEMARH-SE. 2014. 54 p.

SERGIPE, Governo do Estado. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Superintendência de Recursos Hídricos. Relatório de Resumo Executivo: Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe. 2015. 49 p.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A.V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. *Acta Amazonica*, v. 38, n. 4, p. 733- 742. 2008.

SILVA, Gilberto Silvério da; JARDIM, Wilson. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaia, Região de Campinas/Paulínia – SP. *Química Nova*, Campinas, v. 29, n. 4, p. 689-694, 2006.

SILVA, Luiz Carlos Sousa. A água e os conflitos na bacia hidrográfica do rio Sergipe. *Revista Geonordeste*, São Cristóvão, n. 2, p.1-4, ago. 2013.

SONODA, Kathia Cristhina. Monitoramento biológico das águas no bioma Cerrado utilizando insetos aquáticos: uma revisão. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 41 p.

SOUTO, L. S.; BRITO M. F. G.; ROSA, L. C. *Melanoides tuberculatus* (Müller, 1774): a new threat to the conservation of native aquatic species in Sergipe, Brazil. *Scientia Plena*, v. 7, n. 4, p. 1-6, 2011.

SPERA, Silvio Tulio et al. Solos Arenos-Quartzosos no Cerrado: Características, problemas e limitações ao uso. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 50 p.

TELES, Herlânia Ferreira. Bioindicadores e parâmetros abióticos dos recursos hídricos da Serra de Itabaiana-Sergipe. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

TOMAZ, Plínio. Análise da qualidade da água de rios e impactos de nitrogênio e fósforo rios e córregos. Guarulhos, 2008. 105 p. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/livro\\_nitrogenio/livro\\_qualidade\\_impactos.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/livro_nitrogenio/livro_qualidade_impactos.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2018.

TRINDADE, Mariuza. Nutrientes em sedimentos da represa do Lobo (Brotas - Itirapina, SP). 1980. 219 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Limnologia. Ed. Oficina de Textos. 631 p., 2008.

TUNDISI, José Galizia (coordenador). Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. 76 p.

VALENTIN, I.L. Agrupamento e Ordenação. 1995. In: Peres-Neto, P.R.; Valentin, I.L. & Femandes, F.A.S. (Eds). Tópicos em Tratamento de Dados Biológicos. Oecologia Brasiliensis, Rio de Janeiro. 2: 27-55.

VANNOTE, R.L., MINSHALL, G.W, CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E., 1980. The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37:130-137.

VASCO, Anderson Nascimento do. Monitoramento, análise e modelagem da qualidade da água na sub-bacia do Rio Poxim. 2011. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Agroecossistemas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão.

VAZ, J. F.; TELES, H. M. S.; CORREA, M. A.; LEITE, S. P. S. Ocorrência no Brasil de Thiara (Melanoides tuberculatus) Müller, 1774, (Gastropoda, Prosobranchia), primeiro hospedeiro intermediário de Clonorchissinensis (Cobbold, 1875) (Trematoda, Platyhelminthes). Revista de Saúde Pública, v. 20, n. 4, p. 318-322, 1986. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89101986000400008>

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2005.

WARD, D.; HOLMES, N.; JOSÉ, P. 1995. The New Rivers & Wildlife Handbook. RSPP, NRA e The Wildlife Trusts, Bedfordshire. 426p.

WEBSTER, J.R.; BENFIELD, E.F. 1986. Vascular plant breakdown in freshwater ecosystems. Annual Review of Ecology and Systematics, 17: 567-594.

WETZEL, R.G. Limnology. San Diego: Academic Press, 2001. 1006 p.

WETZEL, R.G. Limnology. Saunders College Publishing House, Philadelphia, 1983. 767p.

WHITFIELD, J. 2001. Vital signs. Nature, 411 (28): 989-990.

WIGGINS, G.B. Order Trichoptera. In: STEHR, T. (Ed.). Immature insects. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 1987. P. 253-287.

YOKOYAMA, E.; PACIENCIA, G. P.; BISPO, P. C.; OLIVEIRA, L. G.; BISPO, P. C. A sazonalidade ambiental afeta a composição faunística de Ephemeroptera e Trichoptera em um riacho de Cerrado do Sudeste do Brasil. Revista Ambiente Guarapuava, v. 8, n. 1, p. 73-84. 2012.

## APÊNDICE 1

**Tabela 1-** Análise estatística PCA – Coleta da bacia do rio Sergipe, chuva (2017).

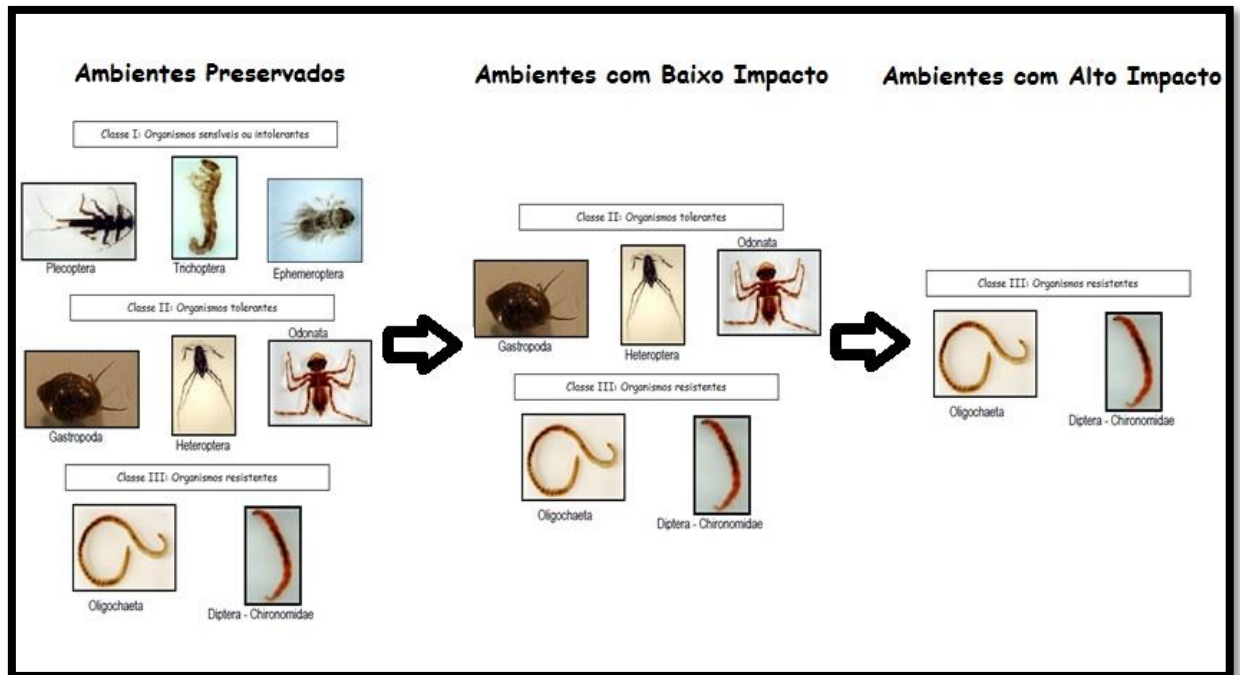
STATISTICA - [Workbook2* - Factor coordinates of the variables]							
File Edit View Insert Format Statistics Graphs Tools Data Workbook Window Help							
Add to Workbook Add to Report							
B I U							
2*							
Factor coordinates of the variables, based on correlations (dados esta sergipe chuv							
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7
pH	-0,386610	0,648887	-0,534488	-0,200728	-0,321288	0,008770	0,014361
OD	0,393898	-0,698611	-0,546734	0,205297	-0,059172	0,105606	0,032680
Condutividade	-0,988254	-0,111538	-0,051543	-0,066341	0,048725	0,038482	0,000035
Fosfóro total	-0,437571	0,131009	-0,779607	0,185614	0,376170	-0,087320	-0,000324
Cloretos	-0,987902	-0,120562	-0,007745	-0,080215	0,042498	0,034834	-0,000399
Sulfatos	-0,935737	-0,070207	0,328996	-0,089963	-0,034119	-0,040608	0,017976
Salinidade	-0,922776	-0,143255	-0,329613	-0,058464	0,063691	0,107821	-0,014753
Ca	-0,995956	-0,063114	0,032860	-0,048307	0,000565	0,017625	-0,019102
Fe	0,145957	0,868218	0,331279	-0,119847	0,304758	0,083642	0,030199
Mg	-0,996731	-0,070849	-0,026043	-0,009934	0,014225	0,022370	-0,005344
Mn	-0,434050	0,588984	0,314757	0,592591	-0,106896	0,054115	-0,010377
Al	-0,548392	-0,631940	0,529519	0,126501	0,039705	-0,037302	0,023604
Ba	-0,885982	0,299509	-0,277427	0,148381	-0,136177	-0,085755	0,021206
S	-0,961502	-0,073232	0,257600	-0,059637	-0,005891	-0,012709	0,006392

**Tabela 2 -** Total de variância entre os eixos principais.

STATISTICA - [Workbook2* - Factor coordinates of the variables]							
File Edit View Insert Format Statistics Graphs Tools Data Workbook Window Help							
Add to Workbook Add to Report							
B I U							
2*							
Factor coordinates of the variables, based on correlations (dados esta sergipe chuv							
Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7
pH	-0,386610	0,648887	-0,534488	-0,200728	-0,321288	0,008770	0,014361
OD	0,393898	-0,698611	-0,546734	0,205297	-0,059172	0,105606	0,032680
Condutividade	-0,988254	-0,111538	-0,051543	-0,066341	0,048725	0,038482	0,000035
Fosfóro total	-0,437571	0,131009	-0,779607	0,185614	0,376170	-0,087320	-0,000324
Cloretos	-0,987902	-0,120562	-0,007745	-0,080215	0,042498	0,034834	-0,000399
Sulfatos	-0,935737	-0,070207	0,328996	-0,089963	-0,034119	-0,040608	0,017976
Salinidade	-0,922776	-0,143255	-0,329613	-0,058464	0,063691	0,107821	-0,014753
Ca	-0,995956	-0,063114	0,032860	-0,048307	0,000565	0,017625	-0,019102
Fe	0,145957	0,868218	0,331279	-0,119847	0,304758	0,083642	0,030199
Mg	-0,996731	-0,070849	-0,026043	-0,009934	0,014225	0,022370	-0,005344
Mn	-0,434050	0,588984	0,314757	0,592591	-0,106896	0,054115	-0,010377
Al	-0,548392	-0,631940	0,529519	0,126501	0,039705	-0,037302	0,023604
Ba	-0,885982	0,299509	-0,277427	0,148381	-0,136177	-0,085755	0,021206
S	-0,961502	-0,073232	0,257600	-0,059637	-0,005891	-0,012709	0,006392

## APÊNDICE 2

**Figura 1** - Esquema destacando os organismos existentes em cada tipo de ambiente (preservado, baixo impacto e alto impacto).



Fonte: AUTOR (2018).



### APÊNDICE 3

**Figura 2** - Espécies encontradas de *Melanóides Tuberculata* (Gastropoda).



Fonte: AUTOR (2018).

## APÊNDICE 4

**Figura 3** - Espécies encontradas de Oligochaeta.



Fonte: AUTOR (2018).



## APÊNDICE 5

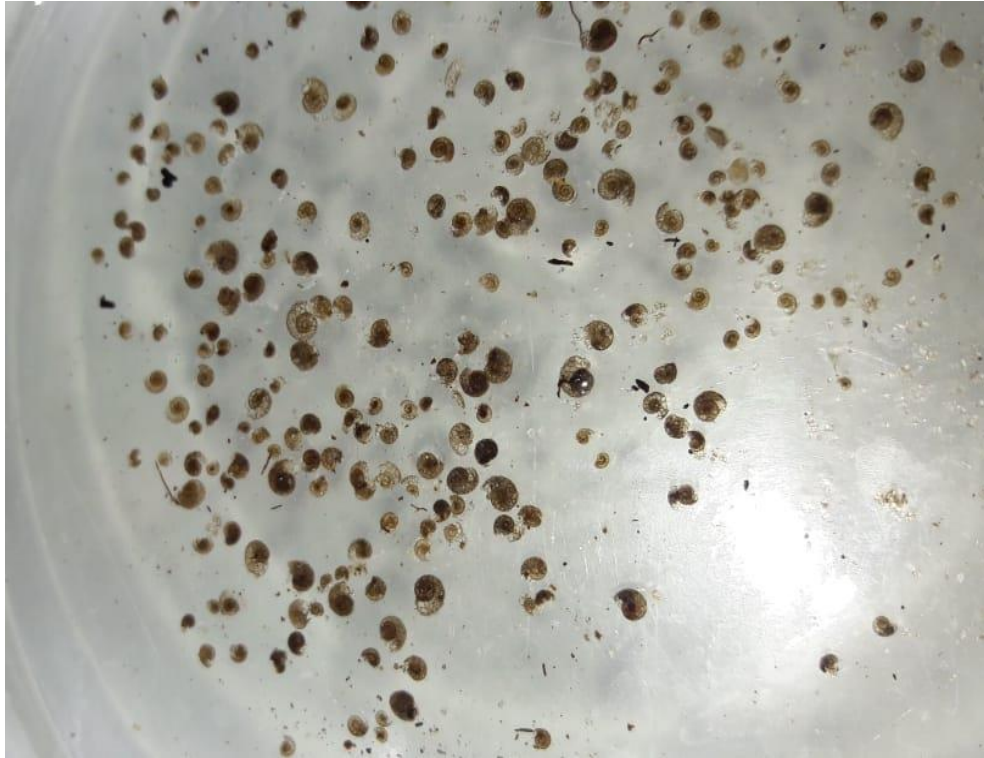
**Figura 4** - Organismos bentônicos triados referentes à família Chironomidae (Insecta).



Fonte: AUTOR (2018)

## APÊNDICE 6

**Figura 5** - Caracóis de areia triados construídos pela família Helycopsychidae (Trichoptera).



Fonte: AUTOR (2018).